

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

ПРОЕКТ
ОБЩИЙ ТЕКСТ TEXTSHARE
<http://textshare.da.ru> <http://textshare.tsx.org>
textshare@aport.ru

Хотите получать сообщения о появлении новых текстов?
Подпишитесь на почтовую рассылку по адресу
<http://podpiska.da.ru>

В. ГЕЙЗЕНБЕРГ

ФИЗИКА И ФИЛОСОФИЯ

М.: Наука, 1989

ПРОЕКТ
ОБЩИЙ

ТЕКСТ

TEXTSHARE

<http://textshare.da.ru>

<http://texts>

textshare@aport.ru

Хотите получать сообщения о
появлении новых текстов?

Подпишитесь на почтовую рассылку
по адресу

<http://podpiska.da.ru>

В. ГЕЙЗЕНБЕРГ

ФИЗИКА И ФИЛОСОФИЯ

М.: Наука, 1989

В. Гейзенберг. Физика и философия.

- М.: Наука, 1989, с. 3-132.

Перевод с немецкого И.А. Акчурина
и Э.П. Андреева

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие

- I. Значение современной физики в наше время
- II. История квантовой теории
- III. Копенгагенская интерпретация квантовой теории
- IV. Квантовая теория и истоки учения об атоме
- V. Развитие философских идей после Декарта в сравнении с современным положением в квантовой теории
- VI. Соотношение квантовой теории и других областей современного естествознания
- VII. Теория относительности

- VIII. Критика и контрпредложения в
отношении копенгагенской
интерпретации квантовой теории
- IX. Квантовая теория и строение
материи
- X. Язык и реальность в современной
физике
- XI. Роль новой физики в
современном развитии
человеческого мышления
- Примечания и комментарии

ПРЕДИСЛОВИЕ

[5]

В различных университетах
Шотландии ежегодно читаются так

называемые гиффордовские лекции. Эти лекции, по завещанию основателя, имеют своим предметом естественную теологию. С естественной теологией связана такая точка зрения на вопросы бытия, которая является результатом отказа от какой-либо частной религии или мировоззрения. Чаще всего цели, которые преследуют эти лекции, предполагают не специальное изложение отдельных проблем науки, а ее философские основы и мировоззренческие выводы. Поэтому перед автором, когда в зимний семестр 1955/56 года он должен был читать

гиффордовские лекции в Университете св. Андрея, была поставлена задача показать связи между современной атомной физикой и общими философскими вопросами. Данная книга представляет собой немецкое издание этих лекций, первоначально вышедших в США на английском языке.

Лекции были рассчитаны на широкий круг студентов, не обязательно физиков, интересующихся естествознанием и философией. Автор дает себе отчет в том, что понимание отдельных разделов книги для неспециалистов-

физиков будет представлять большие трудности. При трудности самого предмета этого едва ли можно избежать; тем не менее было приложено много сил для изложения важнейших вопросов так, чтобы они могли быть понятны и читателям-неспециалистам. Наиболее трудным разделом является, по-видимому, раздел, излагающий контринтерпретации к копенгагенской интерпретации квантовой теории; в этом разделе читателем, который не знаком с физи-

кой, могут быть опущены некоторые детали, так как они не особенно важны для дальнейших выводов. В интересах большей доступности книги иногда допускаются повторения.

Выводы современной физики, о которых здесь идет речь, во многом изменили представление о мире, унаследованное от прошлого века. Они вызывают переворот в мышлении и потому касаются широкого круга людей. Предлагаемая книга имеет целью помочь подготовить почву для этого переворота.

Мюнхен, 1959 г.
В. Гейзенберг

[7]

I. ЗНАЧЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ В НАШЕ ВРЕМЯ

Когда сегодня говорят о современной физике, то первая мысль, которая при этом возникает, связана с атомным оружием. Каждый знает, какое огромное влияние оказывает это оружие на политическую жизнь нашего времени. Каждый также знает, что сегодня физика оказывает на общее положение в мире гораздо большее влияние, чем когда-либо

прежде. Все же мы должны спросить, действительно ли изменения, произведенные современной физикой в политической сфере, являются важнейшим ее результатом. Что останется от влияния современной физики, если мир в своей политической структуре будет соответствовать новым техническим возможностям?

Чтобы ответить на этот вопрос, нужно вспомнить, что каждое орудие несет в себе дух, благодаря которому оно создано. Так как каждая нация и каждая политическая группировка независимо от ее географического

расположения или культурных традиций должна быть заинтересована в новом оружии, то дух современной физики будет проникать в сознание многих народов и будет связан самыми различными путями с прежними традициями. Что в конце концов произойдет на нашей земле в результате столкновения специальной области современной науки и весьма различных древних традиций? В тех частях мира, в которых развито современное естествознание, непосредственные интересы, направленные с давних времен прежде всего на

практическое применение открытий естествознания в промышленности и технике, сочетаются с рациональным анализом внешних и внутренних условий такого применения. Народам этих стран сравнительно легко будет справиться с новыми идеями, ибо у них было достаточно времени для медленного и постепенного приспособления к современному техническому и естественнонаучному методу мышления. Однако в других частях мира эти идеи довольно неожиданно сталкиваются с основными религиозными и философскими представлениями национальной

культуры. Ввиду того что результаты современной физики снова ставят нас перед необходимостью обсуждения таких основополагающих понятий, как реальность, пространство и время, это столкновение может привести к совершенно новому изменению мышления, пути которого нельзя еще предвидеть. Характерной чертой столкновения современного естествознания с прежним традиционным методом мышления является

[8]

полная интернациональность

современного естествознания. Одна сторона в этом обмене идей, именно прежняя традиция, неодинакова в различных частях мира, а другая — повсюду одна и та же, и, следовательно, результаты этого обмена быстро распространяются на все области, где вообще имеет место дискуссия.

По этой причине весьма важной задачей, быть может, является попытка, не прибегая только к специальному языку, обсудить идеи современной физики, рассмотреть философские выводы из них и сравнить их с некоторыми из прежних традиций. Вероятно,

лучший путь обсуждения проблем современной физики заключается в историческом описании развития квантовой теории, которая в действительности есть только особый раздел атомной физики; сама атомная физика опять же есть только весьма ограниченная область современного естествознания. Однако можно, пожалуй, сказать, что самые большие изменения в представлениях о реальности произошли именно в квантовой теории; новые идеи атомной физики сконцентрированы и, так сказать, выкристаллизованы в той окончательной форме, которую

приняла наконец квантовая теория. Глубокое впечатление и тревогу эта область современного естествознания вызывает в связи с чрезвычайно дорогим и сложным экспериментальным оборудованием, необходимым для исследований по ядерной физике. Все же в отношении того, что касается экспериментальной техники, современная ядерная физика является только прямым следствием метода исследования, который всегда, со времен Гюйгенса, Вольты и Фарадея, определял развитие естествознания. Точно так же можно сказать, что обескураживающая

математическая сложность некоторых разделов квантовой теории представляет собой лишь крайнее развитие методов, которые были открыты Ньютоном, Гауссом и Максвеллом. Но изменения в представления о реальности, ясно выступающие в квантовой теории, не являются простым продолжением предшествующего развития. По-видимому, здесь речь идет о настоящей ломке в структуре естествознания. Поэтому следующая глава должна быть посвящена обсуждению исторического развития квантовой теории.

II. ИСТОРИЯ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

Возникновение квантовой теории связано с известным явлением, которое вовсе не принадлежит к центральным разделам атомной физики. Любой кусок вещества, будучи нагрет, начинает светиться и при повышении температуры становится красным, а затем — белым. Цвет почти не зависит от вещества и для черного тела определяется исключительно температурой. Поэтому излучение, производимое таким черным телом при высокой температуре, является интересным объектом для

физического исследования.
Поскольку речь идет о простом явлении, то для него должно быть дано и простое объяснение на основе известных законов излучения и теплоты. Попытка такого объяснения, предпринятая Рэлеем и Джинсом в конце XIX века, столкнулась с весьма серьезными затруднениями. К сожалению, эти трудности нельзя объяснить с помощью простых понятий. Вполне достаточно сказать, что последовательное применение известных в то время законов природы не привело к удовлетворительным результатам.

Когда научные занятия привели Планка в 1895 году в эту область исследований, он попытался на первый план выдвинуть не проблему излучения, а проблему излучающего атома. Хотя поворот в сторону излучающего атома и не устранил серьезных трудностей, однако благодаря этому стали проще их интерпретация и объяснение эмпирических результатов. Как раз в это время, летом 1900 года, Курльбаум и Рубенс произвели новые чрезвычайно точные измерения спектра теплового излучения. Когда Планк узнал об этих измерениях, он попытался выразить их с помощью

несложных математических формул, которые на основании его исследований взаимосвязи теплоты и излучения представлялись ему правдоподобными. Однажды Планк и Рубенс встретились за чаем в доме Планка и сравнили эти результаты Рубенса с формулой, которую предложил Планк для объяснения результатов измерений Рубенса. Сравнение показало полное соответствие. Таким образом был открыт закон теплового излучения Планка.

Для Планка это открытие было только началом интенсивных теоретических исследований. Стоял

вопрос: какова правильная физическая интерпретация новой формулы? Так как Планк на основании своих более ранних работ легко мог истолковать эту формулу как утверждение об излучающем атоме (так называемом осцилляторе), он вскоре понял, что его формула имеет такой вид, как если бы

[10]

осциллятор изменял свою энергию не непрерывно, а лишь отдельными квантами и если бы он мог находиться только в определенных состояниях или, как говорят физики,

в дискретных состояниях энергии. Этот результат так отличался от всего, что знали в классической физике, что вначале Планк, по-видимому, отказывался в него верить. Но в период наиболее интенсивной работы, осенью 1900 года, он наконец пришел к убеждению, что уйти от этого вывода невозможно. Как утверждает сын Планка, его отец рассказывал ему, тогда еще ребенку, о своих новых идеях во время долгих прогулок по Грюневальду. Он объяснял, что чувствует — либо он сделал открытие первого ранга, быть может, сравнимое только с открытиями Ньютона, либо он

полностью ошибается. В это же время Планку стало ясно, что его формула затрагивает самые основы описания природы, что эти основы претерпят серьезное изменение и изменят свою традиционную форму на совершенно неизвестную. Планк, будучи консервативным по своим взглядам, вовсе не был обрадован этими выводами. Однако в декабре 1900 года он опубликовал свою квантовую гипотезу.

Мысль о том, что энергия может испускаться и поглощаться лишь дискретными квантами энергии, была столь новой, что она выходила за традиционные рамки физики.

Оказалась напрасной в
существенных чертах попытка
Планка примирить новую гипотезу
со старыми представлениями об
излучении. Прошло около пяти лет,
прежде чем в этом направлении был
сделан следующий шаг.

На этот раз именно молодой Альберт
Эйнштейн, революционный гений
среди физиков, не побоялся отойти
еще дальше от старых понятий.
Эйнштейн нашел две новые
проблемы, в которых он успешно
применил представления Планка.
Первой проблемой был проблема
фотоэлектрического эффекта:
выбивание из металла электронов

под действием света. Опыты, особенно точно произведенные Ленардом, показали, что энергия испускаемых электронов зависит не от интенсивности света, а только от цвета или, точнее говоря, от частоты, или длины волны света. На базе прежней теории излучения это объяснить было нельзя. Однако Эйнштейн объяснил данные наблюдений, опираясь на гипотезу Планка, которую он интерпретировал с помощью предположения, что свет состоит из так называемых световых квантов, то есть из квантов энергии, которые движутся в пространстве подобно

маленьким корпускулам. Энергия отдельного светового кванта, в согласии с гипотезой Планка, должна равняться частоте света, помноженной на постоянную Планка.

Другой проблемой была проблема удельной теплоемкости твердых тел. Существовавшая теория удельной теплоемкости приводила к величинам, которые хорошо согласовывались с экспериментом в области высоких температур, но при низких температурах были много выше наблюдаемых величин. Эйнштейн снова сумел показать, что подобное поведение твердых тел

можно понять благодаря квантовой гипотезе Планка, применяя ее к упругим колебаниям атомов в твердом теле. Эти два результата были большим шагом вперед на

[11]

пути дальнейшего развития новой теории, в силу того что они обнаружили планковскую постоянную действия в различных областях, непосредственно не связанных с проблемой теплового излучения. Эти результаты выявили и глубоко революционный характер новой гипотезы, ибо трактовка Эйнштейном квантовой теории

привела к такому объяснению природы света, которое полностью отличалось от привычного со времени Гюйгенса объяснения на основе волнового представления. Следовательно, свет может быть объяснен или как распространение электромагнитных волн — факт, который принимали на основе работ Максвелла и опытов Герца, — или как нечто, состоящее из отдельных “световых квантов”, или “энергетических пакетов”, которые с большой скоростью движутся в пространстве. А может ли свет быть и тем и другим? Эйнштейн, конечно, знал, что известные опыты по

дифракции и интерференции могут быть объяснены только на основе волновых представлений. Он также не мог оспаривать наличие полного противоречия между своей гипотезой световых квантов и волновыми представлениями. Эйнштейн даже не пытался устранить внутренние противоречия своей интерпретации. Он принял противоречия как нечто такое, что, вероятно, может быть понято много позднее благодаря совершенно новому методу мышления.

Тем временем эксперименты Беккереля, Кюри и Резерфорда привели к несколько большей

ясности в отношении строения атома. В 1911 году Резерфорд на основании наблюдений прохождения α -лучей через вещество предложил свою знаменитую модель атома. Атом состоит из атомного ядра, положительно заряженного и содержащего почти всю массу атома, и электронов, которые движутся вокруг ядра, подобно тому как планеты движутся вокруг Солнца. Химическая связь между атомами различных элементов объясняется взаимодействием между внешними электронами соседних атомов. Химическая связь непосредственно не имеет отношения к ядру. Атомное

ядро определяет химические свойства атома лишь косвенно через свой электрический заряд, так как последний определяет число электронов в нейтральном атоме. Эта модель, правда, не могла объяснить одну из самых характерных черт атома, а именно его удивительную устойчивость. Никакая планетная система, которая подчиняется законам механики Ньютона, никогда после столкновения с другой подобной системой не возвратится в свое исходное состояние. В то время как, например, атом углерода остается атомом углерода и после столкновения с другими атомами

или после того, как он, вступив во взаимодействие с другими атомами, образовал химическое соединение.

Объяснение этой необычной устойчивости было дано в 1913 году Нильсом Бором путем применения квантовой гипотезы Планка к модели атома Резерфорда. Если атом может изменять свою энергию только прерывно, то это должно означать, что атом существует лишь в дискретных стационарных состояниях, низшее из которых есть нормальное состояние атома. Поэтому после любого взаимодействия атом в конечном счете всегда возвращается в это

нормальное состояние.

[12]

Бор, применяя квантовую теорию к модели атома, сумел не только объяснить устойчивость атома, но в некоторых простых случаях сумел также дать теоретическое объяснение линейных спектров, образующихся при возбуждении атомов посредством электрического разряда или теплоты. Его теория при описании движения электронов покоилась на соединении классической механики и квантовых условий, которые налагаются на классические законы движения для

выделения дискретных стационарных состояний среди других состояний. Позднее Зоммерфельд дал точную математическую формулировку этих условий ¹. Бору было ясно, что квантовые условия в известном смысле разрушают внутреннюю прочность ньютоновской механики. В простейшем случае атома водорода на основании теории Бора можно рассчитать частоту излучаемого света, и согласие теоретических расчетов с наблюдениями оказывалось полным. В действительности эти частоты отличались от орбитальных частот

электронов и высших гармоник этих частот, и это обстоятельство сразу показало, что теория еще полна противоречий. Несмотря на это, она, по всей вероятности, содержала большую долю истины. Она качественно объяснила химические свойства атомов и их линейные спектры. Существование дискретных стационарных состояний было непосредственно подтверждено и опытами: в экспериментах Франка и Герца, Штерна и Герлаха.

Таким образом, теория Бора открыла новую область исследований. Большое количество экспериментального материала,

полученного спектроскопией в течение нескольких десятилетий, теперь при изучении квантовых законов движения электронов стало источником информации. Для той же самой цели могли быть использованы многие эксперименты химиков. Имея дело с этим экспериментальным материалом, физики постепенно научились ставить правильные вопросы. А ведь часть правильно поставленный вопрос означает больше чем наполовину решение проблемы. Каковы эти вопросы? Практически почти все они имели дело с явными и удивительными противоречиями в

результатах различных опытов. Как может быть, что одно и то же излучение, которое образует интерференционную картину и доказывает тем самым существование лежащего в основе волнового движения, производит одновременно и фотоэлектрический эффект и потому должно состоять из движущихся световых квантов? Как может быть, что частота орбитального движения электронов в атоме не является также и частотой испускаемого излучения? Разве не означает это, что нет никакого орбитального движения? Но если представление об орбитальном

движении неверно, то что в таком случае происходит с электроном внутри атома? Можно видеть те электроны, которые движутся в камере Вильсона; некоторые из них до этого являлись составной частью атома и были выбиты из атома. Почему, следовательно, внутри атома они не двигаются таким же образом? Можно было бы, пожалуй, представить себе,

[13]

что в нормальном состоянии атома электроны покоятся. Но ведь имеются состояния с более высоким энергиями, в которых электроны

обладают вращательным моментом, и поэтому в этих состояниях абсолютно исключено состояние покоя электронов. Можно перечислить много подобных примеров. Все отчетливее стали понимать, что попытка описать атомные процессы в понятиях обычной физики приводит к противоречиям. К началу 20-х годов физики постепенно освоились с этими трудностями. У них выработалась своего рода интуиция, правда не очень ясная, в отношении того, где, по всей вероятности, будут иметь место затруднения, и они научились избегать эти затруднения.

Наконец, они узнали, какое в данном опыте описание атомных процессов приведет к правильному результату. Этого знания было недостаточно для того, чтобы дать общую непротиворечивую картину квантовых процессов, но оно так изменило мышление физиков, что они в некоторой степени прониклись духом квантовой теории.

Уже в течение некоторого времени до того, как была дана строгая формулировка квантовой теории, знали более или менее точно, каков будет результат того или иного эксперимента.

Часто обсуждали так называемые “мысленные эксперименты”. Такие эксперименты изобретали для того, чтобы выяснить какой-либо особенно важный вопрос, вне зависимости от того, может ли быть проведен фактически этот эксперимент или нет. Конечно, важно было, чтобы эксперимент мог быть осуществим в принципе — при этом экспериментальная техника могла быть любой сложности. Эти мысленные эксперименты оказались чрезвычайно полезными при выяснении некоторых проблем. Там, где в отношении вероятного результата такого эксперимента

невозможно было добиться согласия между физиками, часто удавалось придумать подобный, но более простой эксперимент, который фактически можно было выполнить; экспериментальный результат значительно содействовал разъяснению квантовой теории.

Удивительнейшим событием тех лет был тот факт, что по мере этого разъяснения парадоксы квантовой теории не исчезали, а, наоборот, выступали во все более явной форме и приобретали все большую остроту. Например, в то время был произведен опыт Комптона по рассеянию рентгеновских лучей. На

основании прежних опытов по интерференции рассеянного света было совершенно очевидным, что рассеяние происходит в основном следующим образом: падающая световая волна выбивает из пучка электрон, колеблющийся с той же самой частотой; затем колеблющийся электрон испускает сферическую волну с частотой падающей волны и вызывает тем самым рассеянный свет. Однако в 1923 году Комптон обнаружил, что частота рассеянных рентгеновских лучей отличается от частоты падающих лучей 2 . Это изменение частоты можно объяснить, предполагая, что

рассеяние представляет собой столкновение кванта света с электроном. При ударе энергия светового кванта изменяется, а так как произведение частоты на постоянную Планка равняется

[14]

энергии кванта света, частота также должна измениться. Но как в этом случае объяснить световые волны? Оба эксперимента — один по интерференции рассеянного света, другой по изменению частоты рассеянного света — настолько противоречат друг другу, что, по-видимому, выход найти невозможно.

В это время многие физики были уже убеждены в том, что эти явные противоречия принадлежат к внутренней природе атомной физики. Поэтому де Бройль во Франции в 1924 году попытался распространить дуализм волнового и корпускулярного описания и на элементарные частицы материи, в частности на электроны. Он показал, что движению электрона может соответствовать некоторая волна материи, так же как движению светового кванта соответствует световая волна. Конечно, в то время не было ясно, что означает в этой связи слово “соответствовать”. Де

Бройль предложил объяснить условия квантовой теории Бора с помощью представления о волнах материи. Волна, движущаяся вокруг ядра атома, по геометрическим соображениям может быть только стационарной волной; длина орбиты должна быть кратной целому числу длин волн. Тем самым де Бройль предложил перекинуть мост от квантовых условий, которые оставались чуждым элементом в механике электронов, к дуализму волн и частиц.

Таким образом, в теории Бора различие между вычисленной орбитальной частотой электрона и

частотой излучения показывало ограниченность понятия “электронная орбита”. Ведь с самого начала это понятие вызывало большие сомнения. С другой стороны, в случае сильно возбужденных состояний, в которых электроны двигаются на большом расстоянии от ядра, нужно согласиться с тем, что электроны двигаются так же, как они двигаются, когда их видят в камере Вильсона. Следовательно, в этом случае можно употреблять понятие “электронная орбита”. В силу этого представляется весьма удовлетворительным тот факт, что

именно для сильно возбужденных состояний частота излучения приближается к орбитальной частоте (точнее говоря, к орбитальной частоте и высшим гармоническим составляющим этой частоты). Бор уже в одной из своих первых работ утверждал, что интенсивность спектральных линий излучения приблизительно должна согласовываться с интенсивностью соответствующих гармонических составляющих. Этот так называемый принцип соответствия оказался весьма полезным для приближенного расчета интенсивности спектральных линий. Таким образом,

создалось впечатление, что теория Бора дает качественную, а не количественную картину того, что происходит внутри атома, и что по меньшей мере некоторые новые черты в поведении материи качественно могут быть выражены с помощью квантовых условий, которые со своей стороны как-то связаны с дуализмом волн и частиц.

Точная математическая формулировка квантовой теории сложилась в конечном счете в процессе развития двух различных направлений. Одно направление было связано с принципом соответствия Бора. На этом

направлении нужно было прежде
всего отказаться

[15]

от понятия “электронная орбита” и
использовать его лишь приближенно
в предельном случае больших
квантовых чисел, то есть больших
орбит. В этом последнем случае
частота и интенсивность излучения
некоторым образом соответствуют
электронной орбите. Излучение
соответствует тому, что математики
называют “Фурье-представлением”
орбиты электрона. Таким образом,
вполне логична мысль, что
механические законы следует

записывать не как уравнения для координат и скоростей электронов, а как уравнения для частот и амплитуд их разложения Фурье. Исходя из таких представлений, возникает возможность перейти к математически представляемым отношениям для величин, которые соответствуют частоте и интенсивности излучения. Эта программа действительно могла быть осуществлена. Летом 1925 года она привела к математическому формализму, который был назван “матричной механикой”, или, вообще говоря, квантовой механикой. Уравнения движения механики

Ньютона были заменены подобными уравнениями для линейных алгебраических форм, которые в математике называются матрицами. Весьма удивительно, что многие из старых результатов механики Ньютона, как, например, сохранение энергии, остались и в новом формализме. Позднее исследования Борна, Иордана и Дирака показали, что матрицы, представляющие координаты и импульс электрона, не коммутируют друг с другом. На языке математики этот факт указывал на самое сильное из существенных различий между квантовой механикой и классической

механикой.

Другое направление исходило из идей де Бройля о волнах материи. Шредингер попытался записать волновое уравнение для стационарных волн де Бройля, окружающих атомное ядро. В начале 1926 года ему удалось вывести значения энергии для стационарных состояний атома водорода в качестве собственных значений своего волнового уравнения, и он сумел дать общее правило преобразования данных классических уравнений в соответствующие волновые уравнения, которые, правда, относятся к некоторому

абстрактному математическому пространству, именно многомерному конфигурационному пространству. Позднее он показал, что его волновая механика математически эквивалентна более раннему формализму квантовой или матричной механики. Таким образом, мы получили наконец непротиворечивый математический формализм, который можно выразить двумя равноправными способами: или с помощью матричных соотношений, или с помощью волновых уравнений. Этот математический формализм дал верные значения энергии для атома

водорода. Понадобилось меньше года, чтобы обнаружить, что верные результаты получаются и для атома гелия и в более сложном случае — для тяжелых атомов. Однако собственно в каком смысле новый формализм описывает атомные явления? Ведь парадоксы корпускулярной и волновой картины еще не были решены, они только содержались в скрытом виде в математической схеме.

В направлении действительного понимания квантовой теории первый и очень интересный шаг уже в 1924 году был сделан Бором,

[16]

Крамерсом и Слэтером³. Они попытались устранить кажущееся противоречие между волновой и корпускулярной картинами с помощью понятия волны вероятности. Электромагнитные световые волны толковались не как реальные волны, а как волны вероятности, интенсивность которых в каждой точке определяет, с какой вероятностью в данном месте может излучаться и поглощаться атомом квант света. Это представление вело к заключению, что, по-видимому, законы сохранения энергии и

динамических переменных в каждом отдельном случае могут не выполняться и речь идет, следовательно, о статистических законах; так что энергия сохраняется только в статистическом среднем. В действительности этот вывод был неверен, а взаимосвязь волновой и корпускулярной картин излучения позднее оказалась еще более сложной.

Однако работа Бора, Крамера и Слэтера содержала уже существенную черту верной интерпретации квантовой теории. С введением волны вероятности в теоретическую физику было введено

совершенно новое понятие, В математике или статистической механике волна вероятности означает суждение о степени нашего знания фактической ситуации. Бросая кость, мы не можем проследить детали движения руки, определяющие выпадение кости, и поэтому говорим, что вероятность выпадения отдельного номера равно одной шестой, поскольку кость имеет шесть граней. Но волна вероятности, по Бору, Крамерсу и Слэтеру, была чем-то гораздо большим. Она означала нечто подобное стремлению к определенному протеканию

событий. Она означала количественное выражение старого понятия “потенция” аристотелевской философии. Она ввела странный вид физической реальности, который находится приблизительно посередине между возможностью и действительностью.

Позднее, когда было закончено математическое оформление квантовой теории, Борн использовал эту идею волны вероятности и дал на языке формализма ясное определение математической величины, которую можно интерпретировать как волну вероятности. Волна вероятности

являлась не трехмерной волной типа радиоволн или упругих волн, а волной в многомерном конфигурационном пространстве. Эта абстрактная математическая величина стала известной благодаря исследованиям Шредингера.

Даже в это время, летом 1926 года, еще не в каждом случае было ясно, как следует использовать математический формализм, чтобы дать описание данной экспериментальной ситуации. Правда, тогда уже знали, как описывать стационарные состояния, но не было еще известно, как объяснить гораздо более простые

явления, например движение электрона в камере Вильсона.

Когда летом 1926 года Шредингер показал, что формализм его волновой механики математически эквивалентен квантовой механике, он в течение некоторого времени совсем отказывался от представления о квантах и квантовых скачках и пытался заменить электроны в атоме трехмерными волнами материи. Поводом к такой попытке было то, что, по его теории, уровни энергии атома водорода являются

собственными частотами некоторых стационарных волн. Поэтому Шредингер полагал, что будет ошибкой считать их значениями энергии; они являются частотами, а вовсе не энергией; однако во время дискуссии, которая происходила в Копенгагене осенью 1926 года между Бором и Шредингером и копенгагенской группой физиков, стало очевидным, что такая интерпретация недостаточна даже для объяснения планковского закона теплового излучения⁴.

В течение нескольких месяцев, последовавших за этой дискуссией,

интенсивное изучение в Копенгагене всех вопросов, связанных с интерпретацией квантовой теории, привело наконец к законченному и, как считают многие физики, удовлетворительному объяснению всей ситуации. Однако оно не было тем объяснением, которое можно было легко принять. Я вспоминаю многие дискуссии с Бором, длившиеся до ночи и приводившие нас почти в отчаяние. И когда я после таких обсуждений предпринимал прогулку в соседний парк, передо мною снова и снова возникал вопрос, действительно ли природа может быть такой

абсурдной, какой она предстает перед нами в этих атомных экспериментах.

Окончательное решение пришло с двух сторон. Один из путей сводился к переформулировке вопроса.

Вместо того чтобы спрашивать, как можно данную экспериментальную ситуацию описывать с помощью известной математической схемы, ставится другой вопрос: верно ли, что в природе встречается только такая экспериментальная ситуация, которая выражается в математическом формализме квантовой теории? Предположение, что это верная постановка вопроса,

вело к ограничению применения понятий, со времени Ньютона составлявших основу классической физики. Правда, можно было говорить, как в механике Ньютона, о координате и скорости электрона. Эти величины можно и наблюдать и измерять. Но нельзя обе эти величины одновременно измерять с любой точностью. Оказалось, что произведение этих обеих неопределенностей не может быть меньше постоянной Планка (деленной на массу частицы, о которой в данном случае шла речь).

Подобные соотношения могут быть сформулированы для других

экспериментальных ситуаций. Они называются соотношением неточностей или принципом неопределенности. Тем самым было установлено, что старые понятия не совсем точно удовлетворяют природе.

Другой путь был связан с понятием дополнительности Бора. Шредингер описывал атом как систему, которая состоит не из ядра и электронов, а из атомного ядра и материальных волн.

Несомненно, эта картина волн материи также содержит долю истины. Бор рассматривал обе картины — корпускулярную и

волновую — как два дополнительных описания одной и той же реальности. Каждое из этих описаний может быть верным только отчасти. Нужно указать границы применения корпускулярной картины, так же как и применения волновой картины, ибо иначе нельзя избежать противоречий. Но если принять во внимание границы, обусловленные соотношением неопределенностей, то противоречия исчезают.

[18]

Таким образом, в начале 1927 года пришли наконец к непротиворечивой

интерпретации квантовой теории, которую часто называют копенгагенской интерпретацией. Эта интерпретация выдержала испытание на Сольвеевском конгрессе в Брюсселе осенью 1927 года. Те эксперименты, которые вели к досадным парадоксам, вновь дискутировались во всех подробностях, особенно Эйнштейном. Были найдены новые мысленные эксперименты с целью обнаружить оставшиеся внутренние противоречия теории, однако теория оказалась свободной от них и, по-видимому, удовлетворяла всем экспериментам, которые были

известны к тому времени.

Детали этой копенгагенской интерпретации составляют предмет следующей главы. Быть может, следует указать на тот факт, что потребовалось более четверти века на то, чтобы продвинуться от гипотезы Планка о существовании кванта действия до действительного понимания законов квантовой теории. Отсюда понятно, как велики должны быть изменения в наших основных представлениях о реальности, для того чтобы можно было окончательно понять новую ситуацию.

III. КОПЕНГАГЕНСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

Копенгагенская интерпретация квантовой теории начинается с парадокса. Каждый физический эксперимент, безразлично относится ли он к явлениям повседневной жизни или к явлениям атомной физики, должен быть описан в понятиях классической физики. Понятия классической физики образуют язык, с помощью которого мы описываем наши опыты и

результаты. Эти понятия мы не можем заменить ничем другим, а применимость их ограничена соотношением неопределенностей. Мы должны иметь в виду ограниченную применимость классических понятий, и не пытаться выходить за рамки этой ограниченности. А чтобы лучше понять этот парадокс, необходимо сравнить интерпретацию опыта в классической и квантовой физике.

Например, в ньютоновской небесной механике мы начинаем с того, что определяем положение и скорость планеты, движение которой собираемся изучать. Результаты

наблюдения переводятся на математический язык благодаря тому, что из наблюдений выводятся значения координат и импульса планеты. Затем из уравнения движения, используя эти численные значения координат и импульса для данного момента времени, получают значения координат или какие-либо другие свойства системы для последующих моментов времени. Таким путем астроном предсказывает движение системы. Например, он может предсказать точное время солнечного затмения.

В квантовой теории все происходит по-иному. Допустим, нас интересует

движение электрона в камере Вильсона, и мы посредством некоторого наблюдения определили координаты и скорость электрона. Однако это определение не может быть точным. Оно содержит по меньшей мере неточности, обусловленные соотношением неопределенностей, и, вероятно, кроме того, будет содержать еще большие неточности, связанные с трудностью эксперимента. Первая группа неточностей дает возможность перевести результат наблюдения в математическую схему квантовой теории. Функция вероятности, описывающая

экспериментальную ситуацию в момент измерения, записывается с учетом возможных неточностей измерения. Эта функция вероятностей представляет собой соединение двух различных элементов: с одной стороны — факта, с другой стороны — степени нашего знания факта. Эта функция характеризует фактически достоверное, поскольку приписывает начальной ситуации вероятность,

[20]

равную единице. Достоверно, что электрон в наблюдаемой точке движется с наблюдаемой скоростью.

“Наблюдаемо” здесь означает — наблюдаемо в границах точности эксперимента. Эта функция характеризует степень точности нашего знания, поскольку другой наблюдатель, быть может, определил бы положение электрона еще точнее. По крайней мере в некоторой степени экспериментальная ошибка или неточность эксперимента рассматривается не как свойство электронов, а как недостаток в нашем знании об электроне. Этот недостаток знания также выражается с помощью функции вероятности.

В классической физике в процессе точного исследования ошибки

наблюдения также учитываются. В результате этого получают распределение вероятностей для начальных значений координат и скоростей, и это имеет некоторое сходство с функцией вероятности квантовой механики. Однако специфическая неточность, обусловленная соотношением неопределенностей, в классической физике отсутствует.

Если в квантовой теории из данных наблюдения определена функция вероятности для начального момента, то можно рассчитать на основании законов этой теории функцию вероятности для любого

последующего момента времени. Таким образом, заранее можно определить вероятность того, что величина при измерении будет иметь определенное значение. Например, можно указать вероятность, что в определенный последующий момент времени электрон будет найден в определенной точке камеры Вильсона. Следует подчеркнуть, что функция вероятности не описывает само течение событий во времени. Она характеризует тенденцию события, возможность события или наше знание о событии. Функция вероятности связывается с действительностью только при

выполнении одного существенного условия: для выявления определенного свойства системы необходимо произвести новые наблюдения или измерения. Только в этом случае функция вероятности позволяет рассчитать вероятный результат нового измерения. При этом снова результат измерения дается в понятиях классической физики. Поэтому теоретическое истолкование включает в себя три различные стадии. Во-первых, исходная экспериментальная ситуация переводится в функцию вероятности. Во-вторых, устанавливается изменение этой

функции с течением времени. В-третьих, делается новое измерение, а ожидаемый результат его затем определяется из функции вероятности. Для первой стадии необходимым условием является выполнимость соотношения неопределенностей. Вторая стадия не может быть описана в понятиях классической физики; нельзя указать, что происходит с системой между начальным измерением и последующими. Только третья стадия позволяет перейти от возможного к фактически осуществляющемуся.

Мы разъясним эти три ступени на простом мысленном эксперименте.

Уже отмечалось, что атом состоит из атомного ядра и электронов, которые двигаются вокруг ядра. Также было установлено, что

[21]

понятие электронной орбиты в некотором смысле сомнительно. Однако вопреки последнему утверждению можно сказать, что все же, по крайней мере в принципе, можно наблюдать электрон на его орбите. Быть может, мы и увидели бы движение электрона по орбите, если бы могли наблюдать атом в микроскоп с большой разрешающей силой. Однако такую разрешающую

силу нельзя получить в микроскопе, применяющем обычный свет, поскольку для этой цели будет пригоден только микроскоп, использующий γ -лучи, с длиной волны меньшей размеров атома. Такой микроскоп до сих пор не создан, но технические затруднения не должны нас удерживать от обсуждения этого мысленного эксперимента. Можно ли на первой стадии перевести результаты наблюдения в функцию вероятности? Это возможно, если выполняется после опыта соотношение неопределенностей. Положение электрона известно с точностью,

обусловленной длиной волны γ -лучей. Предположим, что перед наблюдением электрон практически находится в покое. В процессе наблюдения по меньшей мере один квант γ -лучей обязательно пройдет через микроскоп и в результате столкновения с электроном изменит направление своего движения. Поэтому электрон также испытает воздействие кванта. Это изменит его импульс и его скорость. Можно показать, что неопределенность этого изменения такова, что справедливость соотношения неопределенностей после удара гарантируется. Следовательно,

первый шаг не содержит никаких трудностей. В то же время легко можно показать, что нельзя наблюдать движение электронов вокруг ядра. Вторая стадия — количественный расчет функции вероятности — показывает, что волновой пакет движется не вокруг ядра, а от ядра, так как уже первый световой квант выбивает электрон из атома. Импульс γ -кванта значительно больше первоначального импульса электрона при условии, если длина волны γ -лучей много меньше размеров атома. Поэтому уже достаточно первого светового кванта, чтобы выбить электрон из атома.

Следовательно, нельзя никогда наблюдать более чем одну точку траектории электрона; следовательно, утверждение, что нет никакой, в обычном смысле, траектории электрона, не противоречит опыту. Следующее наблюдение — третья стадия — обнаруживает электрон, когда он вылетает из атома. Нельзя наглядно описать, что происходит между двумя следующими друг за другом наблюдениями. Конечно, можно было бы сказать, что электрон должен находиться где-то между двумя наблюдениями и что, по-видимому, он описывает какое-то

подобие траектории, даже если невозможно эту траекторию установить. Такие рассуждения имеют смысл с точки зрения классической физики. В квантовой теории такие рассуждения представляют собой неоправданное злоупотребление языком. В настоящее время мы можем оставить открытым вопрос о том, касается ли это предложение формы высказывания об атомных процессах или самих процессов, то есть касается ли это гносеологии или онтологии. Во всяком случае, при формулировании положений, относящихся к поведению атомных

частиц, мы должны быть крайне осторожны.

[22]

Фактически мы вообще не можем говорить о частицах. Целесообразно во многих экспериментах говорить о волнах материи, например о стоячей волне вокруг ядра. Такое описание, конечно, будет противоречить другому описанию, если не учитывать границы, установленные соотношением неопределенностей. Этим ограничением ликвидируется противоречие. Применив понятия “волна материи” целесообразно в том случае, если речь идет об

излучении атома. Излучение, обладая определенной частотой и интенсивностью, дает нам информацию об изменяющемся распределении зарядов в атоме; при этом волновая картина ближе стоит к истине, чем корпускулярная.

Поэтому Бор советовал применять обе картины. Их он назвал дополнительными. Обе картины, естественно, исключают друг друга, так как определенный предмет не может в одно и то же время быть и частицей (то есть субстанцией, ограниченной в малом объеме) и волной (то есть полем, распространяющимся в большом

объеме). Но обе картины дополняют друг друга. Если использовать обе картины, переходя от одной к другой и обратно, то в конце концов получится правильное представление о примечательном виде реальности, который скрывается за нашими экспериментами с атомами.

Бор при интерпретации квантовой теории в разных аспектах применяет понятие дополнительности. Знание положения частицы дополнительно к знанию ее скорости или импульса. Если мы знаем некоторую величину с большой точностью, то мы не можем определить другую (дополнительную) величину с такой

же точностью, не теряя точности первого знания. Но ведь, чтобы описать поведение системы, надо знать обе величины.

Пространственно-временное описание атомных процессов дополнительно к их каузальному или детерминистскому описанию.

Подобно функции координат в механике Ньютона, функция вероятности удовлетворяет уравнению движения. Ее изменение с течением времени полностью определяется квантово-механическими уравнениями, но она не дает никакого пространственно-временного описания системы. С

другой стороны, для наблюдения требуется пространственно-временное описание. Однако наблюдение, изменяя наши знания о системе, изменяет теоретически рассчитанное поведение функции вероятности.

Вообще дуализм между двумя различными описаниями одной и той же реальности не рассматривается больше как принципиальная трудность, так как из математической формулировки теории известно, что теория не содержит противоречий. Дуализм обеих дополнительных картин ярко выявляется в гибкости

математического формализма. Обычно этот формализм записывается таким образом, что он похож на ньютонову механику с ее уравнениями движения для координат и скоростей частиц. Путем простого преобразования этот формализм можно представить волновым уравнением для трехмерных волн материи, только эти волны имеют характер не простых величин поля, а матриц или операторов. Этим объясняется, что возможность использовать различные дополнительные картины имеет свою аналогию в различных преобразованиях математического

формализма

[23]

и в копенгагенской интерпретации не связана ни с какими трудностями. Затруднения в понимании копенгагенской интерпретации возникают всегда, когда задают известный вопрос: что в действительности происходит в атомном процессе? Прежде всего, как уже выше говорилось, измерение и результат наблюдения всегда описывается в понятиях классической физики. То, что выводится из наблюдения, есть функция вероятности. Она

представляет собой математическое выражение того, что высказывания о возможности и тенденции объединяются с высказыванием о нашем знании факта. Поэтому мы не можем полностью определить результат наблюдения. Мы не в состоянии описать, что происходит в промежутке между этим наблюдением и последующим. Прежде всего это выглядит так, будто мы ввели субъективный элемент в теорию, будто мы говорим, что то, что происходит, зависит от того, как мы наблюдаем происходящее, или по крайней мере зависит от самого факта, что мы наблюдаем это

происходящее. Прежде чем разбирать это возражение, необходимо совершенно точно выяснить, почему сталкиваются с подобными трудностями, когда стараются описать, что происходит между двумя следующими друг за другом наблюдениями. Целесообразно в этой связи обсудить следующий мысленный эксперимент.

Предположим, что точечный источник монохроматического света испускает свет на черный экран, в котором имеются два маленьких отверстия. Поперечник отверстия сравним с длиной волны света, а расстояние между отверстиями

значительно превышает длину волны света. На некотором расстоянии за экраном проходящий свет падает на фотографическую пластинку. Если этот эксперимент описывать в понятиях волновой картины, то можно сказать, что первичная волна проходит через оба отверстия. Следовательно, образуются две вторичные сферические волны, которые, беря начало у отверстий, интерферируют между собой. Интерференция произведет на фотографической пластинке полосы сильной и слабой интенсивности — так называемые интерференционные полосы. Почернение на пластинке

представляет собой химический процесс, вызванный отдельными световыми квантами.

Поэтому важно также описать эксперимент с точки зрения представлений о световых квантах. Если бы можно было говорить о том, что происходит с отдельным световым квантом в промежутке между его выходом из источника и попаданием на фотографическую пластинку, то рассуждать можно было бы следующим образом. Отдельный световой квант может пройти или только через первое, или только через второе отверстие. Если он прошел через первое отверстие, то

вероятность его попадания в определенную точку на фотографической пластинке не зависит от того, закрыто или открыто второе отверстие. Распределение вероятностей на пластинке будет таким, будто открыто только первое отверстие. Если эксперимент повторить много раз и охватить все случаи, в которых световой квант прошел через первое отверстие, то почернение на пластинке должно соответствовать этому распределению вероятностей. Если

[24]

рассматривать только те световые

кванты, которые прошли через второе отверстие, то почернение будет соответствовать распределению вероятностей, выведенному из предположения, что открыто только второе отверстие. Следовательно, общее почернение должно быть точной суммой обоих почернений, другими словами — не должно быть никакой интерференционной картины. Но мы ведь знаем, что эксперимент дает интерференционную картину. Поэтому утверждение, что световой квант проходит или через первое, или через второе отверстие, сомнительно и ведет к противоречиям. Из этого

примера видно, что понятие функции вероятности не дает пространственно-временного описания события, происходящего в промежутке между двумя наблюдениями. Каждая попытка найти такое описание ведет к противоречиям. Это означает, что уже понятие “событие” должно быть ограничено наблюдением. Этот вывод весьма существен, так как, по-видимому, он показывает, что наблюдение играет решающую роль в атомном событии и что реальность различается в зависимости от того, наблюдаем мы ее или нет. Чтобы сделать это утверждение более

ясным, проанализируем процесс наблюдения.

Уместно вспомнить, что в естествознании нас интересует не Универсум в целом, включающий нас самих, а лишь определенная его часть, которую мы и делаем объектом нашего исследования. В атомной физике обычно эта сторона представляет собой чрезвычайно малый объект, именно атомные частицы или группы таких частиц. Но дело даже не в величине; существенно то, что большая часть Универсума, включая и нас самих, не принадлежит к предмету наблюдения. Теоретическое

истолкование эксперимента начинается на уровне обеих стадий, о которых уже говорилось. На первой стадии дается описание эксперимента в понятиях классической физики. Это описание в конечном счете связывается на данной стадии с первым наблюдением, и затем описание формулируется с помощью функции вероятности. Функция же вероятности подчиняется законам квантовой механики, ее изменение с течением времени непрерывно и рассчитывается с помощью начальных условий. Это вторая стадия. Функция вероятности

объединяет объективные и субъективные элементы. Она содержит утверждения о вероятности или, лучше сказать, о тенденции (потенция в аристотелевской философии), и эти утверждения являются полностью объективными. Они не зависят ни от какого наблюдения. Кроме этого, функция вероятности содержит утверждения относительно нашего знания системы, которое является субъективным, поскольку оно может быть различным для различных наблюдателей. В благоприятных случаях субъективный элемент функции вероятности становится

пренебрежительно малым в сравнении с объективным элементом, тогда говорят о “чистом случае”.

При обращении к следующему наблюдению, результат которого предсказывается из теории, важно выяснить, находился ли предмет до или по крайней мере в момент наблюдения во взаимодействии с остальной частью мира, например с экспериментальной установкой, с измерительным прибором и т. п. Это означает, что уравнение

[25]

движения для функции вероятности содержит влияние взаимодействия, оказываемое на систему измерительным прибором. Это влияние вводит новый элемент неопределенности, поскольку измерительный прибор описывается в понятиях классической физики. Такое описание содержит все неточности в отношении микроскопической структуры прибора, известные нам из термодинамики. Кроме того, так как прибор связан с остальным миром, то описание фактически содержит неточности в отношении микроскопической структуры всего

мира. Эти неточности можно считать объективными, поскольку они представляют собой простое следствие того, что эксперимент описывается в понятиях классической физики, и поскольку они не зависят в деталях от наблюдателя. Их можно считать субъективными, поскольку они указывают на наше неполное знание мира. После того как произошло взаимодействие, даже в том случае, если речь идет о “чистом случае”, функция вероятности будет содержать объективный элемент тенденции или возможности и субъективный элемент неполного

знания. Именно по этой причине результат наблюдения в целом не может быть точно предсказан. Предсказывается только вероятность определенного результата наблюдения, и это утверждение о вероятности может быть проверено многократным повторением эксперимента. Функция вероятности в отличие от математической схемы механики Ньютона описывает не определенное событие, а, по крайней мере в процессе наблюдения, всю совокупность (ансамбль) возможных событий. Само наблюдение прерывным образом изменит функцию вероятности: оно выбирает

из всех возможных событий то, которое фактически совершилось. Так как наше знание под влиянием наблюдения изменяется прерывно, то и величины, входящие в его математическое представление, изменяются прерывно, и потому мы говорим о “квантовом скачке”. Если кто попытается строить критику квантовой теории на основе старой поговорки: “*Natura non facit saltus*”, то на это можно дать ответ, что наше знание, несомненно, изменяется прерывно. Именно этот факт — прерывное изменение нашего знания — оправдывает употребление понятия “квантовый скачок”.

Следовательно, переход от возможности к действительности совершается в процессе наблюдения. Если мы будем описывать, что происходит в некотором атомном событии, то должны будем исходить из того, что слово “происходит” относится только к самому наблюдению, а не к ситуации между двумя наблюдениями. При этом оно означает не психологический, а физический процесс наблюдения, и мы вправе сказать, что переход от возможности к действительности совершился, как только произошло взаимодействие объекта с измерительным прибором, а с

помощью прибора — и с остальным миром. Этот переход не связан с регистрацией результата наблюдения в сознании наблюдателя. Однако прерывное изменение функции вероятности происходит благодаря акту регистрации, так как в этом случае вопрос касается прерывного изменения нашего знания. Последнее в момент наблюдения отражается прерывным изменением функции вероятности. В какой мере мы

[26]

пришли в конце концов к объективному описанию мира и особенно атомных явлений?

Классическая физика основывалась на предположении — или, можно сказать, на иллюзии, — что можно описать мир или по меньшей мере часть мира, не говоря о нас самих. Действительно, в значительной степени это было возможно.

Например, мы знаем, что существует город Лондон независимо от того, видим мы его или нет. Можно сказать, что классическая физика дает именно идеализацию мира, с помощью которой можно говорить о мире или о его части, при этом не принимая во внимание нас самих. Ее успех привел к всеобщему идеалу объективного описания мира. Давно

уже объективность является высшим критерием ценности научных открытий. Соответствует ли этому идеалу копенгагенская интерпретация квантовой теории? По всей вероятности, мы вправе сказать, что насколько возможно, квантовая теория соответствует этому идеалу. Безусловно, квантовая теория не содержит никаких действительно субъективных черт, и она вовсе не рассматривает разум или сознание физика как часть атомного события. Но она начинает с разделения мира на объекты и остальной мир и с условия, что этот остальной мир описывается в

понятиях классической физики. Само разделение в определенной степени произвольно. Но исторически оно является прямым следствием научного метода прошлых столетий. Применение классических понятий есть, следовательно, в конечном счете результат общего духовного развития человечества. В некотором роде это затрагивает нас самих, и потому наше описание нельзя назвать совершенно объективным.

Вначале говорилось, что копенгагенская интерпретация квантовой теории начинается с парадокса. Она исходит, с одной

стороны, из положения, что мы должны описывать эксперименты в понятиях классической физики, и с другой — из признания, что эти понятия не точно соответствуют природе. Противоречивость этих исходных положений обуславливает статистический характер квантовой теории. В силу этого предлагали совсем отказаться от классических понятий, рассчитывая, по-видимому, что радикальное изменение понятий, описывающих эксперимент, приведет к нестатистическому, полностью объективному описанию природы. Однако эти соображения основываются на непонимании.

Понятия классической физики являются уточненными понятиями нашей повседневной жизни и образуют важнейшую составную часть языка, являющегося предпосылкой всего естествознания. Наше действительное положение в естествознании таково, что для описания эксперимента мы фактически используем или должны использовать классические понятия. Иначе мы не поймем друг друга. Задача квантовой теории как раз и состоит в том, чтобы на этой основе объяснить эксперимент. Нет смысла толковать, что можно было бы предпринять, если бы мы были

другой природы по сравнению с тем, что мы есть на самом деле. В этой связи мы должны отчетливо понимать, говоря словами Вейцзеккера, что “природа была до человека, но человек был до естествознания”. Первая половина высказывания оправдывает классическую физику

[27]

с ее идеалами полной объективности. Вторая половина объясняет, почему мы не можем освободиться от парадоксов квантовой теории и от необходимости применения

классических понятий. При этом следует сделать несколько замечаний о фактическом методе квантово-теоретического истолкования атомных событий. Ранее отмечалось, что мы всегда стоим перед необходимостью разделять мир на объекты, подлежащие изучению, и остальной мир, включающий и нас самих. Это разделение в определенной степени произвольно. Однако это не должно приводить к различию в конечных результатах. Например, объединим измерительный прибор или его часть с объектом и применим закон квантовой теории к этому более

сложному объекту. Можно показать, что подобное видоизменение теоретического подхода фактически не изменяет предсказания о результате эксперимента. Это математически следует из того, что законы квантовой теории для явлений, в которых постоянная Планка считается очень малой величиной, почти идентичны с классическими законами. Однако было бы ошибкой полагать, что такое применение законов квантовой теории может исключить фундаментальные парадоксы.

Только тогда измерительный прибор заслуживает своего назначения, когда

он находится в тесной связи с остальным миром, когда существует физическое взаимодействие между измерительным прибором и наблюдателем. Поэтому неточность в отношении микроскопического поведения мира, так же как и в случае первой интерпретации, проникает в квантово-механическое описание мира. Если бы измерительный прибор был изолирован от остального мира, он не мог быть описан в понятиях классической физики.

По этому поводу Бор утверждал, что, по всей вероятности, правильнее было бы сказать по-другому, а

именно: разделение мира на объекты и остальной мир не произвольно. При исследовании атомных процессов наша цель — понять определенные явления и установить, как они следуют из общих законов. Поэтому часть материи и излучения, которая принимает участие в явлении, представляет собой естественный предмет теоретического истолкования и должна быть отделена от используемого прибора. Тем самым в описание атомных процессов снова вводится субъективный элемент, так как измерительный прибор создан наблюдателем. Мы должны помнить,

что то, что мы наблюдаем, — это не сама природа, а природа, которая выступает в том виде, в каком она выявляется благодаря нашему способу постановки вопросов. Научная работа в физике состоит в том, чтобы ставить вопросы о природе на языке, которым мы пользуемся, и пытаться получить ответ в эксперименте, выполненном с помощью имеющихся у нас в распоряжении средств. При этом вспоминаются слова Бора о квантовой теории: если ищут гармонии в жизни, то никогда нельзя забывать, что в игре жизни мы одновременно и зрители и

участники. Понятно, что в научном отношении к природе наша собственная деятельность становится важной там, где приходится иметь дело с областями природы, проникнуть в которые можно только благодаря сложнейшим техническим средствам.

[28]

IV. КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ И ИСТОКИ УЧЕНИЯ ОБ АТОМЕ

Понятие “атом” много старше естествознания нового времени. Оно имеет свои истоки в античной натурфилософии, являясь

центральным понятием материализма Левкиппа и Демокрита. С другой стороны, современное понимание атомных явлений имеет весьма малое сходство с пониманием атома в прежней материалистической философии. Более того, можно сказать, что современная атомная физика столкнула естествознание с материалистического пути, на котором оно стояло в XIX веке. Поэтому было бы интересно сопоставить становление понятия атома в греческой философии и его понимание в современной науке.

Идея о существовании последних,

наименьших неделимых частиц материи возникла в тесной связи с развитием понятий материи, бытия и становления, характеризующих первый период греческой философии. Этот период начался в VI веке до н. э. с Фалеса, основателя милетской школы, который, согласно Аристотелю, считал, что вода есть материальная основа всех вещей. Каким бы странным ни казалось это высказывание, оно, как подчеркнул Ницше, выражает три основные философские идеи. Во-первых, это высказывание содержит вопрос о материальной основе всех вещей. Во-вторых, оно содержит требование

рационального ответа на этот вопрос без ссылки на мифы и мистические представления. В-третьих, оно содержит предположение о возможности понять мир на основе одного исходного принципа.

Высказывание Фалеса было первым выражением идеи об основной субстанции, об основном элементе, из которого образованы все вещи. В этой связи слово “субстанция”, конечно, не имеет еще четкого материалистического смысла, который в настоящее время приписывается этому слову. В это понятие о субстанции включалось и понятие жизни; согласно

Аристотелю, Фалес также утверждал, что все вещи “полны богов”. Все это имеет отношение и к материальной основе вещей.

Нетрудно представить, что Фалес пришел к своим взглядам главным образом путем метеорологических наблюдений. Очевидно, что среди множества вещей именно вода может принимать самые разнообразные формы и быть в самых разнообразных состояниях. Зимой она становится льдом и снегом. Она может превратиться в пар. Из нее состоят облака Она превращается в землю, где река образует свою дельту, и она в виде родника может

образоваться

[29]

из земли. Вода является условием всякой жизни. Следовательно, вообще если имеется что-либо, подобное основному элементу, основной материи, то естественно считать в качестве основного элемента воду.

Идея первоматерии (основного вещества) развивалась Анаксимандром — учеником Фалеса. Анаксимандр отрицал, что первоматерией может быть обыкновенная вода или какая-нибудь

другая известная субстанция. Он учил, что первоматерия бесконечна, вечна, неизменна и заполняет собой весь мир. Эта первоматерия преобразуется в различные, известные нам из опыта субстанции. Согласно Теофрасту ⁵, Анаксимандр считал, что из чего возникают вещи, в то же самое они должны и вернуться, согласно справедливости, ибо за несправедливость они должны нести наказание в установленное время. В этой философии решающую роль играет антитеза бытия и становления. Первоматерия — неизменное, бесконечное,

недифференцированное бытие — в процессе становления принимает разнообразные формы, пребывающие в непрерывной, вечной борьбе.

Процесс становления рассматривается как некоторое ограничение, уменьшение бесконечного бытия, как разрушение в борьбе, как проклятие, которое в конце концов искупается возвратом в невещественное бытие (неопределенность). Борьба, о которой идет речь, есть противоположность между горячим и холодным, между огнем и водой, между влажным и сухим и т. п.

Временная победа одного над другим

является несправедливостью, которая в установленное время приводит к искуплению. Согласно Анаксимандру, существует вечное движение, непрерывное творение и разрушение миров — из бесконечного в бесконечное.

Для сравнения античной философии с нашими современными проблемами, пожалуй представляет интерес, что в современной атомной физике в новой форме возникает проблема: является ли первоматерия одной из известных субстанций или она нечто их превосходящее? В наше время пытаются найти основной закон движения материи, из которого

могут быть математически выведены все элементарные частицы со своими свойствами. Это фундаментальное уравнение движения может быть отнесено или к волнам известного вида, например протонным или мезонным, или к волнам принципиально иного вида, не имеющим ничего общего с волнами известных элементарных частиц. В первом случае это означало бы, что все множество элементарных частиц может быть объяснено с помощью нескольких “фундаментальных” “элементарных частиц”. Фактически в последние два десятилетия теоретическая физика главным

образом исследует эту возможность. Во втором случае все многообразие элементарных частиц объясняется некоторой универсальной первоматерией, которую можно назвать энергией или материей. В этом случае ни одна из элементарных частиц принципиально не выделяется среди других в качестве фундаментальной частицы. Последняя точка зрения соответствует доктрине Анаксимандра, и я убежден, что такой взгляд правилен и в современной физике.

Однако вернемся снова к греческой философии. Третий милетский философ, Анаксимен, по всей вероятности ученик Анаксимандра, учил, что первоматерией, из которой состоит все, является воздух. Он считал, что так же как наша душа есть не что иное, как воздух, и нас объединяет, так дуновение и воздух объединяют весь мир. Анаксимен ввел в милетскую философию идею, что причиной превращения первоматерии в другие субстанции является процесс сгущения и разрежения. В то время было, конечно, известно о превращении водяного пара в облако, а о различии

между водяным паром и облаками еще не знали.

В философии Гераклита первое место заняло понятие становления. Гераклит считал первоматерией движущийся огонь. Трудность соединения идеи единого принципа с наличием бесконечного превращения явлений разрешалась Гераклитом посредством предположения о том, что непрерывно происходящая борьба между противоположностями и есть своего рода гармония. Для Гераклита мир одновременно и единое и многое, именно напряжение противоположностей образует единство целого. Он

утверждал: борьба есть всеобщая основа всякого бытия, и эта борьба есть одновременно уравнивание; все вещи возникают и снова исчезают в процессе борьбы.

Если окинуть взором греческую философию с ее возникновения до момента, когда появилась философия Гераклита, то легко увидеть, что с самого начала она несла в себе противопоставление понятий единого и многого.

В наших представлениях мир раскрывается как бесконечное многообразие вещей и событий,

цветов и звуков. Но, чтобы его понять, необходимо установить определенный порядок. Порядок означает выяснение того, что тождественно. Он означает единство. На основании этого возникает убеждение, что должен существовать единый принцип; но в то же время возникает трудность, каким путем вывести из него бесконечное многообразие вещей. Естественный исходный пункт: существует материальная первопричина вещей, так как мир состоит из материи. Однако при доведении до логического конца идеи о принципиальном единстве приходят

к бесконечному неизменному,
бессубстанциональному “бытию”,
которое само по себе не может
объяснить все бесконечное
многообразие вещей
безотносительно к тому, считаем ли
мы это бытие материальным или нет.
Отсюда полярность бытия и
становления и, в конце концов, идея
Гераклита, что основной принцип —
это изменение, вечное превращение,
которое, по словам поэта, обновляет
мир. Но само превращение не
является материальной причиной.
Этим объясняется, что в философии
Гераклита материальная причина
представлена в виде огня. Огонь как

первоэлемент является
одновременно и материей и
движущей силой.

Мы теперь можем сказать, что
современная физика в некотором
смысле близко следует учению
Гераклита. Если заменить слово
“огонь” словом “энергия”, то почти в
точности высказывания Гераклита

[31]

можно считать высказываниями
современной науки. Фактически
энергия это то, из чего созданы все
элементарные частицы, все атомы, а
потому и вообще все вещи.

Одновременно энергия является движущим началом. Энергия есть субстанция, ее общее количество не меняется, и, как можно видеть во многих атомных экспериментах, элементарные частицы создаются из этой субстанции. Энергия может превращаться в движение, в теплоту, в свет и электрическое напряжение. Энергию можно считать первопричиной всех изменений в мире. Однако более детальное сравнение греческой философии с современными естественнонаучными представлениями будет осуществлено ниже.

Греческая философия в учении Парменида на некоторое время возвратилась к понятию “единого”. Парменид жил в Элее. в южной Италии. По-видимому, его важнейшим вкладом в греческую философию является введение им в метафизику одного чисто логического аргумента. Согласно этому аргументу, нельзя знать того, чего нет; не может существовать то, что в то же время нельзя выразить; одно и то же — то, что может быть немыслимо, и то, что может существовать. Поэтому существует только единое и нет никакого становления и уничтожения. На

основании логических соображений Парменид отрицал существование пустого пространства. Так как всякое изменение предполагает понятие пустого пространства, то он отрицал как иллюзию и всякое изменение.

Однако философия не могла долго останавливаться на этих парадоксах. Эмпедокл перешел от монизма к одной из разновидностей плюрализма. Чтобы устранить трудность, заключающуюся в том, что ни один из первоэлементов не дает достаточной основы для объяснения многообразия вещей и событий, он рассматривал четыре основных элемента — землю, воду,

воздух и огонь. Элементы соединяются и разделяются под воздействием любви и вражды. Любовь и вражду, которые обуславливают вечное изменение, и четыре первоэлемента он представлял как нечто телесное. Эмпедокл следующим образом описывал происхождение мира: сначала существовала бесконечная сфера единого. Последнее утверждение совпадает с подобным утверждением философии Парменида. В первоматетерии Эмпедокла в отличие от первоматерии Парменида смешаны под влиянием любви четыре “корня”,

четыре первоэлемента. Когда любовь отступает и наступает вражда, элементы отчасти разделяются, отчасти снова объединяются.

Наконец элементы полностью разделяются, и любовь совершенно исчезает из мира. Затем любовь снова наступает и соединяет элементы, и вражда исчезает. Так что опять все возвращается в первоначальное состояние. Учение Эмпедокла, хотя в нем большую роль играют не очень ясные понятия любви и вражды, представляет в известной мере поворот в греческой философии к более конкретным и в этом смысле материалистическим

представлениям. Четыре элемента являются не столько основными началами, сколько материальными субстанциями. Этим впервые выражается мысль, что соединение и разделение

[32]

нескольких принципиально различных субстанций объясняет бесконечное многообразие явлений. Плюрализм будет всегда казаться неудовлетворительным тем, кто привык думать последовательно (принципиально). Плюрализм представляет собой весьма разумный компромисс, устраняющий трудности

монизма и в то же время
допускающий определенный порядок
6

Следующий шаг в направлении к
понятию атома был сделан
Анаксагором, современником
Эмпедокла ⁷. Он жил около 30 лет в
Афинах, по всей вероятности в
первой половине V века до н. э.
Анаксагор развивал идею, что все
изменение в мире происходит
благодаря соединению и
разъединению различных элементов.
Он считал, что существует
бесконечное многообразие
бесконечно малых “семян”, из

которых состоят все вещи. Эти семена не имеют отношения ни к одному из четырех элементов Эмпедокла. Напротив, существует бесконечное множество семян. Семена соединяются и разъединяются, и таким образом происходит изменение. Учение Анаксагора впервые дало геометрическое толкование выражению “соединение”: так как он говорил о бесконечно малых семенах, то их соединение можно представить как соединение двух песчинок разного цвета. Семена могут изменяться в числе и в относительном положении.

Анаксагор полагал, что все семена имеются во всех телах, но изменяется только их отношение от тела к телу. Анаксагор утверждал, что все вещи во всем, и невозможно им полностью разделиться, но все вещи имеют некоторую часть всего.

Вселенная Анаксагора создается не посредством любви и вражды, а посредством “нуса”, что в переводе примерно означает “ум”.

Для перехода от философии к понятию атома необходим был только один шаг, и этот шаг был сделан Левкиппом и Демокритом из Абдеры. Полярность бытия и небытия философии Парменида

здесь была заменена полярностью “заполненного” и “пустого”. Бытие не есть только единое; оно может бесконечно повторяться. Оно атом, мельчайшая неделимая частица материи. Атом вечен и неразложим, но он обладает конечной величиной. Движение невозможно без существования пустого пространства между атомами. Так впервые в истории была выражена мысль о существовании в качестве первичных кирпичей наименьших частиц материи, мы бы сказали — элементарных частиц.

Представление об атоме (неделимом) сводилось к тому, что материя

состояла не только из заполненного, но и из пустого, а именно из пустого пространства, в котором движутся атомы.

Логическое обоснование возражения Парменида против пустого пространства, против того, что небытие не может существовать, просто игнорировалось на основании опыта. С точки зрения современной науки мы бы сказали, что пустое пространство между атомами Демокрита — это не ничто; оно является носителем геометрии и кинематики и делает возможным порядок и движение атомов. До сих пор возможность пустого

пространства осталась нерешенной проблемой. В общей теории относительности Эйнштейна показано, что геометрия

[33]

и материя взаимно обуславливают друг друга. Такой ответ соответствует взгляду, представляемому во многих философских системах и заключающемуся в том, что пространство определяется протяженной материей. Демокрит сохранил представление о пустом пространстве для того, чтобы иметь возможность объяснить изменение и движение. Атомы Демокрита суть та

же самая субстанция, которая прежде обладала одним свойством — “быть”; но они имеют различную величину и форму. Поэтому их можно считать делимыми в математическом, а не в физическом смысле. Атомы могут двигаться и занимать различное положение в пространстве. Но они не обладают никакими другими физическими свойствами. У них нет ни цвета, ни запаха, ни вкуса. Свойства материи, воспринимаемые нашими органами чувств, согласно этому взгляду создаются путем расположения атомов в пространстве и их движения. Подобно тому как комедия и трагедия могут быть

написаны одними и теми же буквами алфавита, так и бесконечное многообразие событий в мире реализуется посредством одних и тех же атомов благодаря их движению и конфигурации. Этим объясняется, что в развитии атомистической философии геометрия и кинематика, обусловленные пустотой, имели большее значение, чем чистое бытие. Как известно, Демокрит утверждал, что только кажется, что вещи имеют цвет; только кажется, что они сладкие или горькие. В действительности существуют только атомы и пустота. Атомы в философии Левкиппа не двигались

просто случайно. Левкипп, по-
видимому, полностью исходил из
детерминизма, ибо, как известно, он
говорил, что ничто не возникает из
ничего, а все — из определенной
причины и необходимости.

Атомисты не дали никакого
объяснения происхождения и
причины первого толчка,
вызывающего первоначальное
движение атомов. Это хорошо
согласуется с их положением о
причинном описании движения
атомов. Причинность всегда
объясняет последующие события
через предыдущие, но никогда не
может объяснить исходное начало. В

дальнейшем основные идеи атомического учения частично были восприняты последующими греческими философами, частично — изменены.

Для сравнения с современной физикой атома представляет интерес понимание материи Платоном, высказанное им в диалоге “Тимей”. Платон не был атомистом. По свидетельству Диогена Лаэртского, Платон до такой степени не одобрял философию Демокрита, что у него было желание сжечь все его книги. Но Платон в своем учении соединил представления, близкие атомистам, с представлениями пифагорейской

школы и философией Эмпедокла. Школа пифагорейцев была связана с орфическим культом, которому покровительствовал Дионис. Именно в пифагорейской школе установлена взаимосвязь между религией и математикой, которая начиная с того далекого времени оказывала сильнейшее влияние на человеческое мышление. По-видимому, пифагорейцы впервые осознали творческую силу математики. Их открытие, что две струны производят гармоническое звучание при условии, если их длины находятся в

определенном рациональном отношении, показало им значение математики для понимания явлений природы. Собственно, для них дело заключалось не столько в рациональном понимании. Для них математическое отношение длин струн создавало гармонию звуков. Таким образом, в учении пифагорейцев было много мистицизма, для нас почти непонятного. Но, сделав математику частью своей религии, они затронули решающий пункт в развитии человеческого мышления. Английский философ Б. Рассел так сказал о Пифагоре: “Я не знаю ни

одного человека, который бы оказал такое влияние на человеческое мышление, как Пифагор”.

Платон знал о пяти правильных геометрических телах, открытых пифагорейцами, и о том, что их можно сопоставить с элементами Эмпедокла. Наименьшие части элемента земли он ставил в связь с кубом, наименьшие части элемента воздуха — с октаэдром, элементы огня — с тетраэдром, элементы воды — с икосаэдром. Не было элемента, соответствующего додекаэдру. Здесь Платон сказал, что существует еще пятый элемент, который бог использовал, чтобы создать

вселенную. Правильные геометрические тела в некотором отношении можно сравнить с атомами; однако Платон категорически отрицал их неделимость. Он конструировал свои правильные тела из двух видов треугольников: равностороннего и равнобедренного прямоугольного. Соединяя их, он получал грани правильных тел. Этим объясняется частичное превращение элементов друг в друга. Правильные тела можно разложить на треугольники, а из этих треугольников можно построить новые правильные тела. Например, тетраэдр и два октаэдра можно

разложить на 20 равносторонних треугольников. Эти последние можно вновь соединить и получить икосаэдр, то есть один атом огня и два атома воздуха в сочетании дают один атом воды. Треугольники нельзя считать материей, так как они не имеют пространственного протяжения. Только в том случае, если треугольники объединены в правильные тела, возникает частица материи. Поэтому наименьшие частицы материи не являются первичными образованиями, как это имело место у Демокрита, и они представляют собой математические формы. Понятно, что в этом случае

форма имеет большее значение, чем вещество, из которого форма состоит или в которой оно выявляется⁸.

Теперь, после краткого обзора развития греческой философии вплоть до формирования понятия атома, мы снова возвратимся к современной физике и спросим, как наше современное понимание атома и квантовая теория относятся к развитию античной натурфилософии. Исторически слово “атом” в физики и химии нового времени было связано с самого начала с ложным объектом. Это произошло в XVII веке, когда

началось возрождение наук. В то время атомами именовались части химического элемента, которые с точки зрения современной науки являются довольно сложными образованиями. Единицы, еще меньшие, чем атом химического элемента, сегодня называются элементарными частицами. И если что из современной физики подлежит сравнению с атомами

[35]

Демокрита, так это элементарные частицы: протон, нейтрон, электрон, мезон. Демокриту было совершенно ясно, что если атомы посредством

своего движения и конфигурации объясняют свойства материи — такие, как цвет, вкус, запах, — то сами они не могут обладать этими свойствами. Поэтому Демокрит лишил атомы этих свойств, и атом у Демокрита представляет собой довольно абстрактную единицу материи. Атом у Демокрита обладает свойством существования и движения, имеет форму и пространственное протяжение. Без этих свойств было бы трудно говорить об атоме. Отсюда следует, что понятие “атом” не объясняет геометрическую форму, пространственное протяжение и

существование материи, поскольку эти свойства предполагаются и ни к чему более первичному не сводятся. Современное понимание элементарных частиц в решении этих вопросов является более последовательным и радикальным. Например, мы очень просто и легко употребляем слово “нейтрон”. Но мы не в состоянии дать никакого определенного образа нейтрона и не можем сказать, что, собственно, мы понимаем под этим словом. Мы пользуемся различными образами и представляем нейтрон то как частицу, то как волну или волновой пакет. Но мы знаем, что ни одно из

этих описаний не является точным. Очевидно, нейтрон не имеет цвета, запаха, вкуса. Тем самым он подобен атомам греческой философии. Но элементарные частицы в некотором отношении лишены и других свойств. Обычные представления геометрии и кинематики о частице, такие, как форма или движение в пространстве, не могут применяться в отношении элементарных частиц непротиворечивым образом. Если хотят дать точное описание элементарной частицы (здесь мы делаем ударение на слове “точное”), то единственное, что может быть пригодно в качестве этого описания,

— это функция вероятности. Отсюда делают вывод, что вообще если речь идет о “свойстве”, то свойство “быть” не подходит без ограничения к элементарной частице. Есть только тенденция, возможность “быть”. Поэтому элементарные частицы современной физики значительно абстрактнее, чем атомы у греков и именно по этой причине они представляют более подходящий ключ для понимания природы материи.

В философии Демокрита все атомы состоят из одной и той же субстанции (материала), поскольку вообще здесь можно применить это

слово. Элементарные частицы современной физики имеют массу. По теории относительности масса и энергия, в сущности, одно и то же, и поэтому можно сказать, что все элементарные частицы состоят из энергии. Таким образом, энергию можно считать основной субстанцией, первоматерией. Фактически она обладает существенным свойством, принадлежащим понятию субстанции: она сохраняется. На этом основании, как уже упоминалось, представления современной физики очень сходны с представлениями Гераклита, если

только элемент “огонь”
интерпретировать как энергию.
Энергия есть движущее. Она
рассматривается как конечная
причина всех изменений и может
превращаться в материю, теплоту и
свет. Борьба

[36]

противоположностей, характерная
для философии Гераклита, находит
здесь свой прообраз во
взаимодействии различных форм
энергии.

В философии Демокрита атомы
являются вечными и неразложимыми

единицами материи: они не могут превращаться друг в друга. Современная физика выступает против положения Демокрита и встает на сторону Платона и пифагорейцев. Элементарные частицы не являются вечными и неразложимыми единицами материи, фактически они могут превращаться друг в друга. При столкновении двух элементарных частиц, происходящем при большой скорости, образуется много новых элементарных частиц; возникая из энергии движения, столкнувшиеся частицы могут при этом исчезнуть. Такие процессы наблюдаются часто и являются

лучшим доказательством того, что все частицы состоят из одинаковой субстанции — из энергии. Но сходство воззрений современной физики с воззрениями Платона и пифагорейцев простирается еще дальше. Элементарные частицы, о которых говорится в диалоге Платона “Тимей”, ведь это в конце концов не материя, а математические формы. “Все вещи суть числа” — положение, приписываемое Пифагору. Единственными математическими формами, известными в то время, являлись геометрические и стереометрические формы, подобные правильным телам и

треугольникам, из которых образована их поверхность. В современной квантовой теории едва ли можно сомневаться в том, что элементарные частицы в конечном счете суть математические формы, только гораздо более сложной и абстрактной природы. Греческие философы думали о статических, геометрических формах и находили их в правильных телах.

Естествознание нового времени при своем зарождении в XVI и XVII веках сделало центральной проблемой проблему движения, следовательно, ввело в свое основание понятие времени. Неизменно со времен

Ньютона в физике исследуются не конфигурации или геометрические формы, а динамические законы. Управление движения относится к любому моменту времени, оно в этом смысле вечно, в то время как геометрические формы, например орбиты планет, изменяются. Поэтому математические формы, представляющие элементарные частицы, в конечном счете должны быть решением неизменного закона движения материи.

В последующие годы развитие физики пришло к такому состоянию, что физики стали стремиться сформулировать основной закон для

материи. Экспериментальная физика собрала большой материал о свойствах элементарных частиц и их превращений. Теоретическая физика может попытаться, исходя из этого материала, вывести основной закон для материи. Еще раньше был предложен простой вид этого уравнения материи. Хотя лишь в будущем выяснится, насколько верно это уравнение, все же эта первая попытка показывает такие черты физики и философии, которые с большой вероятностью могут быть установлены из изучения элементарных частиц, что по крайней мере качественно эта

попытка здесь должна быть описана.

[37]

В проблеме основного уравнения речь идет о нелинейном волновом уравнении для операторов поля. Это уравнение рассматривается как математическое представление всей материи, а не какого-либо определенного вида элементарных частиц или полей. Это волновое уравнение математически эквивалентно сложной системе интегральных уравнений, которые, как говорят математики, обладают собственными значениями и собственными решениями.

Собственные решения представляют элементарные частицы.

Следовательно, они суть математические формы, которые заменяют правильные тела пифагорейцев. Между прочим, здесь следует вспомнить, что собственные решения основного уравнения получаются посредством математической процедуры, с помощью которой из дифференциального уравнения натянутой струны выводятся гармонические колебания струны пифагорейцев.

Математическая симметрия, играющая центральную роль в

правильных телах платоновской философии, составляет ядро основного уравнения. Уравнение — только математическое представление всего ряда свойств симметрии, которые, конечно, не так наглядны, как платоновские тела. В современной физике речь идет о свойствах симметрии, которые соотносятся с пространством и временем и находят свое математическое выражение в теоретико-групповой структуре основного уравнения. Важнейшая группа — так называемая группа Лоренца в теории относительности — определяет структуру

пространства и времени. Кроме того, имеются и другие группы, найденные только в последнее время и связанные с различными квантовыми числами элементарных частиц.

Хотя само основное уравнение имеет очень простую форму, оно содержит большое количество различных свойств симметрии, и, по-видимому, богатый экспериментальный материал о превращении элементарных частиц точно соответствует этим свойствам симметрии.

Следовательно, современная физика

идет вперед по тому же пути, по которому шли Платон и пифагорейцы. Это развитие физики выглядит так, словно в конце его будет установлена очень простая формулировка закона природы, такая простая, какой ее надеялся видеть еще Платон. Трудно указать какое-нибудь прочное основание для этой надежды на простоту, помимо того факта, что до сих пор основные уравнения физики записывались простыми математическими формулами. Подобный факт согласуется с религией пифагорейцев, и многие физики в этом отношении разделяют их веру,

однако до сих пор еще никто не дал действительно убедительного доказательства, что это должно быть именно так.

Можно привести соображение, касающееся вопроса, часто задаваемого дилетантами относительно понятия элементарной частицы в современной физике. Почему физики говорят о том, что элементарные частицы не могут быть разложены на меньшие частицы. Ответ на этот вопрос отчетливо показывает, насколько современное естествознание абстрактнее греческой философии. Наше соображение

на этот счет примерно такое: как можно разложить элементарные частицы? Единственные средства эксперимента, имеющиеся в нашем распоряжении, — это другие элементарные частицы. Поэтому столкновения двух элементарных частиц, обладающих чрезвычайно большой энергией движения, являются единственными процессами, в которых такие частицы, пожалуй, могут быть разложимы. Они распадаются при таких процессах иногда даже на много различных частей. Однако

сами составные части — снова элементарные частицы, а не какие-нибудь маленькие части их, и их массы образуются из энергии движения столкнувшихся частиц. Другими словами: благодаря превращению энергии в материю составные части элементарных частиц — снова элементарные частицы того же вида.

После такого сравнения современных представлений атомной физики с греческой философией мы обязаны высказать предостережение, которое исключало бы возникновение непонимания. С первого взгляда все это может выглядеть так, как будто

греческие философы благодаря гениальной интуиции пришли к таким же или по крайней мере к очень сходным результатам, к которым мы продвинулись в новое время после нескольких веков труднейшей работы в области эксперимента и математики. Но такое толкование нашего сравнения несло бы в себе опасность грубого непонимания. Существует очень большое различие между современным естествознанием и греческой философией, и одно из важнейших состоит именно в эмпирическом основании современного естествознания. Со

времен Галилея и Ньютона естествознание основывается на тщательном изучении отдельных процессов природы и на требовании, согласно которому о природе можно делать только высказывания, подтвержденные экспериментами. Мысль, что посредством эксперимента можно выделить процессы природы, чтобы изучить их детально и при этом вскрыть неизменные законы, содержащиеся в постоянном изменении, не возникала у греческих философов. Поэтому современное естествознание покоится на более скромном и более прочном

фундаменте, чем античная философия. Если, например, Платон, говорил, что наименьшие частицы огня суть тетраэдры, то нелегко предположить, что он в действительности думал. Символически ли форма тетраэдра принадлежит элементу огня или наименьшие частицы огня ведут себя механически как жесткие или упругие тетраэдры, и посредством какой силы они могут быть разложены на треугольники, о которых писал Платон? Современное естествознание должно бы, наконец, спросить: как можно экспериментально решить, что атомы

огня суть тетраэдры и не могут быть чем-либо иным, например кубами. Поэтому если современная теория поля утверждает, что протон представляется посредством некоторого определенного собственного решения основного уравнения материи, то это означает, что из данного решения математически выводятся все возможные свойства протона и что правильность решения может быть доказана в каждом отдельном случае посредством эксперимента. Возможность экспериментально

доказать справедливость высказывания с очень большой точностью придает высказываниям современной физики больший вес, чем тот, которым обладали высказывания античной натурфилософии.

И все-таки некоторые высказывания античной философии удивительно близки высказываниям современного естествознания. А это показывает, как можно далеко пойти, если связать наш обычный опыт, не подкрепленный экспериментом, с неустанным усилием создать логический порядок в опыте и

попытаться, исходя из общих принципов, понять его.

[40]

V. РАЗВИТИЕ ФИЛОСОФСКИХ ИДЕЙ ПОСЛЕ ДЕКАРТА

В СРАВНЕНИИ С СОВРЕМЕННЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ В КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

В течение двух тысяч лет, последовавших за расцветом греческой науки и культуры V — VI веков до н. э., человеческая мысль была занята прежде всего проблемами, сильно отличавшимися от проблем прежней греческой

натурфилософии. В те далекие времена греческой культуры сильнейшее влияние оказывала непосредственная реальность мира, в котором мы живем и который мы воспринимаем нашими органами чувств. Этот мир полон жизни, и нет никакой разумной основы для подчеркивания различия между материей и духом или между телом и душой. Однако уже в философии Платона было установлено, что существует некоторая другая реальность. В известной поэтической картине Платон сравнил людей с узниками, закованными в пещере, которые

могут смотреть только в одном направлении. За ними горит огонь, и они видят на стене только тени своих собственных тел и объектов, находящихся сзади них. Так как эти узники ничего не могут видеть, кроме теней, то тени они принимают за действительность, а объекты вообще выпадают из их поля зрения. Наконец одному из узников удалось бежать, и он вышел из пещеры на солнечный свет. Впервые он увидел реальные вещи и узнал, что до сих пор он за реальность принимал только тени. Впервые он узнал правду и с печалью подумал о своей долгой жизни в темноте. Настоящий

философ и есть тот узник, который вышел из пещеры на свет истины, и он обладает действительным знанием. Непосредственная связь с истиной, или, говоря христианским языком, с богом, есть новая реальность, имеющая большее значение, чем реальность мира, воспринимаемого нашими органами чувств. Непосредственная связь с богом совершается не в мире, а в душе человека, и эта проблема в течение двух тысяч лет после Платона занимала человеческую мысль сильнее любой другой. В этот период внимание философов было направлено на человеческую душу и

на ее отношение к богу, на проблемы этики и на толкование откровения, а отнюдь не на внешний мир. Только начиная с Возрождения в Италии стал заметен постепенный поворот человеческого мышления, который наконец и привел к оживлению интереса к природе.

В XVI и XVII веках началось замечательное развитие естествознания, и оно сопровождалось развитием философских идей,

[41]

тесно связанных с

фундаментальными понятиями науки. Поэтому было бы весьма поучительно прокомментировать эти идеи с современной точки зрения.

Первым великим философом эпохи начала развития естествознания был Рене Декарт, который жил в первой половине XVII века. Важнейшие для естествознания мысли Декарта содержались в его главном труде “Рассуждение о методе...”. Он стремился на базе сомнения и логического мышления создать совершенно новую и, как ему казалось, прочную основу для философской системы. Однако он не рассматривал откровение в качестве

такой основы и нисколько не был склонен некритически перенимать все, что мы воспринимаем нашими чувствами. Так Декарт подошел к своему методу сомнения. Он сомневался в том, что сообщают нам наши чувства, он сомневался в результатах нашего рационального мышления и в конце концов пришел к своему известному положению: “Cogito, ergo sum” (Я мыслю, следовательно, я существую (*лат.*)). Я не могу сомневаться в своем существовании, ибо оно следует из самого факта, что я мыслю. После того как Декарт пришел таким путем к доказательству существования я, он

направил свои усилия на доказательство существования бога, опираясь главным образом на схоластическую философию.

Существование мира вытекало из того, что бог вложил в нас сильную склонность верить в существование мира, а предположить, что бог вводил нас в заблуждение, конечно, нельзя.

Исходный пункт картезианской философии полностью отличался от исходного пункта античной греческой философии. Философия Декарта исходила не из основного начала или основного вещества, а пыталась создать основополагающее,

достоверное знание. Декарт признавал, что наше знание о нашем собственном мышлении достовернее нашего знания о внешнем мире. Но уже сама исходная позиция с ее треугольником: бог, мир и я — рискованно упрощает дальнейшие рассуждения. Стал теперь окончательным начавшийся с философии Платона разрыв между материей и духом или между душой и телом. Бог отделен от я так же, как и от мира. Фактически бог так высоко поднялся над миром и людьми, что в философии Декарта он появляется в конце концов только как общее исходное начало, которое

осуществляет связь между я и миром.

В то время как античная натурфилософия пыталась найти порядок в бесконечном многообразии вещей и явлений с помощью одного основного начала, Декарт пытался создать порядок посредством основополагающего разделения. Однако три части, возникшие в процессе этого разделения, утрачивали многое в своей сущности, если любую из них рассматривать отдельно от двух других. В системе Декарта существенно, что бог присутствует в мире и в я и что я не может быть отделено от мира. Конечно, Декарт

знал неоспоримую необходимость связи, однако философия и естествознание следующего периода развивались на основе полярности между “res cogitans” и

[42]

“res extensa” (“существо мыслящее” и “существо протяженное” (*лат .*)), и естествознание направляло свой интерес прежде всего на “res extensa”. Влияние картезианского разделения на человеческое мышление последующих столетий едва ли можно переоценить. Именно это разделение мы должны подвергнуть критике на основании

развития физики нашего времени.

Очевидно, было бы неверно утверждать, что Декарт придал новое направление человеческой мысли посредством своего нового философского метода. Фактически он впервые сформулировал тенденцию человеческого мышления, которая уже наметилась в период Возрождения и Реформации. Для подтверждения вышесказанного можно, с одной стороны, упомянуть возрождение интереса к математике, которое объясняет возросшее влияние платонизма, и, с другой — устремление к личной религии. Возросший интерес к математике

благоприятствовал философской системе, исходившей из логического анализа с целью достижения истины, которая была бы так же достоверна, как и вывод в математике.

Требование личной религии отделяло я и его отношение к богу от мира. Интерес к соединению эмпирического знания с математикой, как это видно из работ Галилея, быть может, отчасти был обусловлен возможностью достижения знания таким путем, который совершенно отличен от теологических споров времен Реформации. Это эмпирическое знание достигалось и переводилось

на математический язык без упоминания о боге или о нас самих и благоприятствовало разделению на три основных понятия: бог, мир и я — и разделению между “*res cogitans*” и “*res extensa*”. В этот период существовало соглашение между пионерами нового опытного естествознания в том, чтобы в их дискуссиях не упоминалось имя бога или какой-либо другой конечной причины мира. С другой стороны, были видны и трудности картезианского разделения. Например, Декарт при разделении между “*res cogi-tans*” и “*res extensa*” ставил животных целиком на

сторону “*rex extensa*” Поэтому животные и растения принципиально ничем не отличались от машин, их поведение было полностью определено материальными причинами. Однако трудно было категорически отрицать в животных существование некоторого подобия души. С точки зрения наших современных представлений более древнее понятие души, например в философии Фомы Аквинского, по-видимому, естественнее, чем понятие “*res cogitans*” Декарта, даже если мы убеждены, что законы физики и химии строго выполняются

и в живых организмах. Одним из выводов из этого взгляда Декарта было то, что если животных рассматривать как машины, то соответственно трудно и людей представлять как-то иначе. Так как, с другой стороны, “*res cogitans*” и “*res extensa*” в своей сущности считаются различными, то, по-видимому, невозможно представить, чтобы они взаимодействовали друг с другом. Поэтому, чтобы понять параллелизм между духом и телом, деятельность духа также должна быть детерминирована посредством законов, которые соответствуют физике и химии. В связи с

этим встает вопрос о возможности свободы воли. Ясно, конечно, что это описание отношения духа и тела весьма искусственно и показывает большие недостатки картезианского разделения. Но, с другой стороны, это разделение в естествознании имело положительное значение в течение нескольких столетий.

Ньютоновская механика и другие разделы классической физики, построенные по ее образцу, базировались на предположении, что можно описать мир, не говоря о боге или о нас самих. Эта возможность

оказалась чуть ли не необходимой предпосылкой для всего естествознания.

Но благодаря квантовой теории положение в описании мира в корне изменилось. Поэтому мы можем теперь перейти к оценке философии Декарта с точки зрения современной физики. Уже в предыдущих главах говорилось, что в копенгагенской интерпретации квантовой теории мы можем описывать природу, не вводя нас самих в качестве самостоятельных сущностей в это описание. Однако мы не можем уйти от факта, что естествознание создано людьми. Естествознание

описывает и объясняет природу не просто так, как она есть “сама по себе”. Напротив, оно есть часть взаимодействия между природой и нами самими. Естествознание описывает природу, которая отвечает на наши вопросы и подвергается нашим методам исследования. Об этой возможности Декарт еще и не думал, однако если это предположить, оказалось бы невозможным полное разделение между миром и я.

Если говорить о больших трудностях понимания копенгагенской интерпретации, с которыми сталкивался даже такой выдающийся

ученый, как Эйнштейн, то корни этих трудностей можно проследить вплоть до картезианского разделения. Это разделение проникало глубоко в человеческое мышление в течение трех столетий после Декарта, и оно еще долго будет существовать — до тех пор, пока не возникнет новое понимание проблемы реальности.

Основная точка зрения, к которой прежде всего вело картезианское разделение в отношении “*res extensa*”, сводится к взгляду, который можно назвать чем-то вроде метафизического реализма. Согласно этому взгляду, мир и то, что мы в нем

воспринимаем, то есть протяженные вещи, существуют. Этот взгляд отличается от практического реализма, и различные формы реализма, по-видимому, могут быть представлены следующим образом: мы объективируем положение, если утверждаем, что его содержание не зависит от условий, при которых оно может быть проверено.

Практический реализм допускает, что имеются положения, могущие быть объективированными, и фактически опыт повседневной жизни в большей своей части состоит из таких положений.

Догматический реализм утверждает,

что нет осмысленных положений о материальном мире, которые нельзя было бы объективировать.

Практический реализм всегда являлся существенной основой естествознания и останется таковым в будущем. Догматический реализм, как мы теперь видим, не является необходимой предпосылкой естествознания. Несомненно, в прошлом в развитии естествознания он играл очень важную

[44]

роль. Фактически ведь точка зрения классической физики есть точка зрения догматического реализма.

Только благодаря квантовой теории стало известно, что точное естествознание возможно и без догматического реализма в качестве своей основы. Когда Эйнштейн критиковал квантовую теорию, то он это делал исходя из догматического реализма. Это естественная позиция. Каждый ученый (естествоиспытатель), проводя исследование, испытывает чувство, что он ищет нечто объективно истинное. Он думает, что его высказывания не зависят от условий, при которых они проверяются. Тот факт, что в физике природу можно описать посредством простых

математических законов, учит нас тому, что мы имеем здесь дело с подлинными чертами реальности, а вовсе не с тем, что мы в некотором смысле слова изобрели сами.

Примерно это соображение имел в виду Эйнштейн, принимая догматический реализм в качестве основы естествознания. Квантовая теория служит примером возможности объяснить природу посредством простых математических законов, без этой основы. Эти законы далеко не так просты, как законы механики Ньютона. Однако, будучи сравнима с громадной сложностью объясняемых

ею явлений (например, линейные спектры сложных атомов), математическая схема квантовой теории все-таки относительно проста. Фактически естествознание возможно и без догматического реализма как основы.

Метафизический реализм делает следующий в сравнении с догматическим реализмом шаг, заявляя, что вещи “действительно существуют”. Именно это Декарт хотел доказать с помощью аргумента, что бог не может ввести нас в заблуждение. Положение, что вещи действительно существуют, отличается от положений

догматического реализма тем, что в нем есть слово “существуют”, имеющееся и в другом высказывании: “Cogito, ergo sum”. Несмотря на это, представляет большие трудности попытка сделать больший вывод, чем тот, который содержится в тезисе догматического реализма.

Этим подводят к общей критике положение “Cogito, ergo sum”, которое Декарт считал непоколебимой основой для своей системы. На самом деле правильно, что это положение имеет достоверность математического доказательства, если слова “cogito” и

“sum” определены так, что высказывание логически правильно. О таком определении Декарт, конечно, не думал; он полагал, что уже известно, что означают “бытие” и “мышление”. Но, по сути, это утверждение непосредственно не очевидно. Но если даже предпринята попытка уточнить приведенное определение, то благодаря этому еще не решается вопрос о том, как далеко можно идти по пути познания с подобным образом определенными понятиями “мышление” и “бытие”. В конечном счете всегда встает эмпирический вопрос, насколько оправданно можно использовать

понятия, уже имеющиеся в языке.

Вскоре после Декарта стали более очевидными трудности метафизического реализма, и они явились исходным пунктом эмпирической философии: сенсуализма и позитивизма.

Представителями ранней эмпирической философии являются три

[45]

философа: Локк, Беркли и Юм. Локк в противовес Декарту учит, что все знание в конечном счете основано на опыте. При этом речь может идти

или о чувственном опыте, или об опыте, определяющем особенности нашего мышления. Знание, как говорит Локк, есть понимание соответствия или несоответствия между идеями. Следующий шаг был сделан Беркли: если фактически все наше знание основывается на восприятии, на ощущении, то утверждение, что вещи действительно существуют, бессмысленно. Если восприятия даны, то уже нельзя провести никакого различия, существуют ли вещи или не существуют. Поэтому существование и ощущение одно и то же. Этот способ доказательства был

доведен затем до крайнего скептицизма Юмом, который отрицал индукцию и закон причинности и благодаря этому пришел к таким выводам, что, если их принять, они разрушат все основы эмпирического естествознания.

Критика метафизического реализма, как она дана в эмпирической философии, по-видимому, справедлива, поскольку она представляет общее предостережение против слишком наивного употребления слова “существование”. Однако положительные выводы самой эмпирической философии с

подобной точки зрения могут быть подвергнуты критике. Наши ощущения не являются первичными соединениями цветов и звуков. То, что мы воспринимаем, мы всегда воспринимаем уже как “нечто”, как некую вещь, и потому весьма сомнительно, что вообще можно что-либо понять, если вместо вещей в качестве последних элементов реальности принять ощущения. Лежащие здесь в основе трудности наиболее четко были выявлены современным позитивизмом. Это направление мысли выражает критику наивного употребления определенных слов, таких, как

“вещь”, “ощущение”,
“существование” и т. д., выдвигая
общее требование основательного
исследования вопроса о том, имеет
ли смысл данное высказывание или
нет. Это требование и вытекающие
из него следствия разработаны в
математической логике. Образ
действий точного естествознания
понимается как связь символов и
наблюдаемых явлений. Символы
связываются между собой по
определенным правилам, как и в
математике, и таким путем
высказывания о явлениях могут быть
выражены посредством связи между
символами. Связь между символами,

не согласованная с определенными правилами, не только ложна, но и вообще не имеет никакого смысла. Трудность, несомненно присущая этому аргументу, состоит в том, что отсутствует общий критерий того, в каком случае высказывание должно рассматриваться как имеющее или не имеющее смысл. Ясное решение этого вопроса возможно в том случае, если высказывание принадлежит к замкнутой системе понятий и аксиом; однако в развитии естествознания это исключение из правил. В некоторых случаях происходило так, что определенное, казавшееся лишенным смысла

высказывание исторически приводило к большому прогрессу; оно открывало возможность новой связи между понятиями, которая была бы противоречивой, если бы высказывание имело смысл. В качестве примера можно привести один из вопросов квантовой теории: “По какой траектории движется [46]

электрон вокруг атомного ядра?” Однако, пожалуй, позитивистская схема мышления, развитая на базе математической логики, в целом слишком ограничена для описания природы, в котором все же

необходимо употреблять слова и понятия, не всегда строго и точно определенные.

Философское положение, что все знание в конечном счете основывается на опыте, в конце концов именно в современном позитивизме ведет к требованию логического анализа каждого высказывания о природе. Такое требование, по-видимому, оправданно в классической физике. Однако с развитием квантовой теории мы узнали, что оно невыполнимо. Например, слова “координата” и “скорость” электрона раньше казались имеющими смысл

как в отношении их значения, так и в отношении их возможной связи; фактически в рамках механики Ньютона они и были ясными и точными понятиями. Но с точки зрения современной физики они не являются таковыми, в чем можно убедиться на основании соотношения неопределенностей. Можно сказать, что они имеют смысл в отношении механики Ньютона, но не в отношении к природе. Это позволяет сказать, что никогда нельзя знать с самого начала границы в отношении применимости определенных понятий при расширении нашего знания. В

особенности этого нельзя знать в том случае, когда это знание ведет в чрезвычайно далекую область природы, в которую мы можем проникнуть только с помощью современной техники эксперимента. Поэтому в этом процессе проникновения мы порою применяем наши понятия, которые не могут быть логически оправданы и в известной степени не имеют смысла. Абсолютное выполнение требования строгой логической ясности, вероятно, не имеет места ни в одной науке. Современная физика напоминает нам одну старую мудрость: не ошибается тот, кто

МОЛЧИТ.

Связь двух направлений мысли, которые развиты, с одной стороны, Декартом, с другой — Локком и Беркли, была исследована в философии Канта, которая явилась началом немецкого идеализма. Та часть его работы, которая важна для сравнения с современной физикой, содержится в “Критике чистого разума”. Кант поставил вопрос: основывается ли знание только на опыте или оно происходит и из других источников? Он пришел к заключению, что наше знание, по крайней мере частично, априорно и тем самым не выводится из опыта.

Поэтому он делает различие между эмпирическим знанием и знанием “априори”. Далее, он различает аналитические и синтетические суждения. Аналитические суждения следуют просто из логики, и отказ от них привел бы к внутренним противоречиям. Суждения не аналитические называются синтетическими.

Что служит критерием априорности знания? Кант согласен с эмпиризмом в том, что все знание начинается с опыта. Но он добавляет, что оно не всегда выводится из опыта. Опыт учит нас, что определенная вещь имеет те или иные свойства, но он

ничего не говорит нам о том, что невозможно что-либо другое. Таким образом, если суждение, как формулирует Кант, мыслится одновременно вместе со своей

[47]

необходимостью, то есть если мы не можем высказать ему противоположное, то оно должно быть априорно. Опыт никогда не придает нашим суждениям всеобщность. Например, предложение “Солнце всходит каждое утро” означает, что мы не знаем на основании прошлого никакого исключения из этого

правила и потому верим, что это повторится и в будущем. Однако можно предположить исключение из этого правила. Если суждение имеет всеобщий характер, то есть если нельзя представить себе исключение, то оно должно быть априорным. Аналитическое суждение всегда априорно. Даже если ребенок учится считать, играя маленькими шариками, то ему, чтобы узнать, что два и два — четыре, не требуется обращения к опыту. Подобные рассуждения — аналитические. Эмпирические суждения — синтетические.

Центральным для Канта является

вопрос: “Могут ли быть синтетические суждения априорными?” Кант пытался это доказать, обращаясь к примерам, в которых, как ему казалось, вышеназванные критерии выполняются. Пространство и время, по Канту, — априорные формы созерцания. В случае пространства он выдвигал следующие метафизические аргументы.

Во-первых , пространство не является эмпирическим понятием, вытекающим из внешнего опыта. Именно чтобы некоторые ощущения относились к чему-то вне меня, для

этого уже должно лежать в основе представление о пространстве.

Во-вторых , пространство — необходимое представление априори, которое лежит в основе всех внешних восприятий. Нельзя представить, чтобы не было пространства, хотя и можно представить, что в пространстве ничего нет.

В-третьих , пространство — это не дискурсивное, или, как говорят, общее понятие отношения вещей, но чистое созерцание. Сначала можно представить только единое пространство, и если речь идет о многих пространствах, то понимают

под этим только часть одного и того же единого пространства.

В-четвертых , пространство понимается как некоторая данная бесконечная величина. Никакое понятие не понимается так, будто оно содержит в себе бесконечное множество представлений; Однако пространство понимается именно так. Следовательно, первоначальное представление о пространстве есть созерцание априори, а не понятие.

Эти аргументы нами обсуждаться не будут. Они привлечены только в качестве иллюстрации того доказательства, которое провел Кант,

чтобы показать, как возможны синтетические суждения априори.

Что касается физики, то Кант в качестве априорных категорий рассматривал не только пространство и время, но и закон причинности и понятие субстанции. Позднее он попытался также включить закон сохранения материи, равенство действия и противодействия и даже закон тяготения. Ни один физик сегодня не может следовать в этом вопросе за Кантом, если слово “априори” используется в абсолютном смысле. В математике Кант рассматривал евклидову геометрию как

априорную.

[48]

Прежде чем учение Канта об априорности знания сравнивать с результатами современной физики, мы должны вспомнить еще другую часть его произведения, которая позднее будет предметом нашего рассмотрения. В кантовской философии возник неприятный вопрос — существуют ли действительно вещи? — который в свое время дал повод к развитию эмпирической философии. Однако Кант в этом отношении не следовал Беркли и Юму, хотя с точки зрения

логики это было бы вполне последовательно. Он сохранил в своей философии понятие “вещь в себе” и связал с ним причину ощущения, которая отлична от самого ощущения. Таким путем он сохранил связь с реализмом.

Если сравнить учение Канта с результатами современной физики, то на первый взгляд покажется, будто центральное понятие его философии — синтетическое суждение априори — полностью разрушено естественными открытиями нашего столетия. Теория относительности изменила наши представления о пространстве и

времени, она выявила новые черты пространства и времени, которые нельзя было увидеть в кантовских априорных формах чистого созерцания. Закон причинности в квантовой теории не применяется или, во всяком случае, применяется не таким образом, как в классической физике, а закон сохранения материи для элементарных частиц вообще неверен. Естественно, Кант не мог предвидеть эти открытия. Но так как он был убежден, что его представления должны образовать основу для всякой метафизики будущего, то интересно выяснить, где

оказались ложными его аргументы.

В качестве примера разберем закон причинности. Кант говорит: когда мы узнаем, что что-то произошло, то при этом всегда предполагаем, что нечто предшествовало этому, исходя по определенному правилу. Это, по утверждению Канта, является основой всякого естествознания. При этом неважно, всегда ли нам удастся найти предшествующее событие, из которого другое событие необходимо следует. Фактически мы его можем указать во многих случаях. Но даже если это невозможно, то никому не запрещается выяснить, что является

этим предшествующим событием, и искать его. Таким образом, закон причинности просто сводится к методу научного исследования.

Именно это условие делает науку возможной. Так как фактически мы этот метод применяем, то закон причинности априорен и не выводится из опыта.

Верно ли это в атомной физике? Например, атом радия излучает альфа-частицы. Время излучения нельзя предсказать. Исходя из опытных данных, физики могут только указать, что в среднем излучение имеет место приблизительно раз в 2 тысячи лет.

Если излучение частиц наблюдается, то физики фактически уже не спрашивают о предшествующем процессе, из которого неизбежно должно следовать излучение.

Логически рассуждая, по-видимому, можно найти такое предшествующее событие, только не нужно падать духом, если оно еще не найдено. Но почему после Канта научный метод изменился в этом основополагающем вопросе? Можно дать два ответа. Первый: благодаря

[49]

эксперименту мы приходим к убеждению, что законы квантовой

теории правильны; и если мы признаем эту правильность, то, следовательно, должны считать, что нет никакого предшествующего события, из которого с необходимостью должно в определенное время последовать излучение. Другой возможный ответ: мы знаем предшествующее событие, но знаем его не точно. Мы, конечно, знаем силы в атомных ядрах, ответственные за альфа-распад, но это знание содержит неопределенность, которая обусловлена взаимодействием атомного ядра с остальным миром. Если мы хотим знать причину,

почему альфа-частицы излучаются именно в этот момент, то, по-видимому, должны для этого знать микроскопическое состояние всего мира, к которому мы и сами принадлежим, а это, очевидно, невозможно. Поэтому кантовский аргумент в защиту априорного характера закона причинности уже не действует.

Подобное рассуждение можно, пожалуй, привести и в отношении априорного характера форм созерцания: пространства и времени. Результат был бы тот же самый. Априорные представления, которые Кант принимал за неоспоримую

истину, в своей первоначальной форме уже не содержатся в научной системе современной физики.

Несмотря на это, они в несколько ином отношении составляют существенную часть этой системы. При разъяснении копенгагенской интерпретации квантовой теории уже подчеркивалось, что мы вынуждены использовать классические понятия для того, чтобы иметь возможность описывать экспериментальное устройство или вообще чтобы говорить о части мира, которая не принадлежит к сфере нашего опыта. Применение этих классических понятий, таких, как

пространство, время и закон причинности, фактически является предпосылкой для наблюдения атомных событий, и в этом смысле их можно считать априорными. Что Кант не предполагал, так это возможность, что эти априорные понятия, являющиеся предпосылкой для науки, в то же время имеют ограниченную область применения. Когда мы проводим эксперимент, то необходимо предположить причинную цепь событий, идущую от атомного события через наши приборы в конце концов к глазу наблюдателя. Если же существование этой причинной цепи не будет

предполагаться, то ничего нельзя будет узнать об атомном событии. Но при этом мы не вправе забывать, что классическая физика и закон причинности обладают ограниченной областью применения. Это является основополагающим парадоксом квантовой теории, который не мог быть предвиден Кантом. Современная физика превратила кантовское положение о возможности синтетических суждений априори из метафизического в практическое положение. Благодаря этому синтетические суждения априори содержат характер относительной

истины. Если кантовский априоризм именно так интерпретировать, то не будет никакого основания рассматривать ощущения как вещь, а не как данное. В новой физике, как и в физике классической, о событиях, которые не наблюдаются, можно говорить так же, как и о событиях наблюдаемых. Поэтому практический реализм

[50]

в настоящее время является естественной составной частью новой интерпретации. В отношении “вещей в себе” Кант говорил, что на основании опыта мы не можем

сделать заключение об их природе. Это утверждение, как заметил Вейцзеккер, имеет формальную аналогию в том факте, что, несмотря на применение классических понятий во всех экспериментах, возможно неклассическое поведение атомных объектов. Для физика “вещь в себе”, поскольку он применяет это понятие, в конечном счете есть математическая структура. Однако в противоположность Канту эта структура косвенно выводится из опыта. При таком измененном понимании кантовский априоризм косвенно постольку связан с опытом, поскольку он образован в процессе

развития человеческого мышления в далеком прошлом. Следуя этому аргументу, биолог Лоренц однажды сравнил априорные понятия со способами поведения, которые у животных называются врожденной схемой. Фактически весьма вероятно, что для некоторых примитивных организмов пространство и время отличаются от того, что Кант назвал пространством и временем как чистыми формами созерцания. Эти формы созерцания, по-видимому, принадлежат человеческому роду, но вовсе не принадлежат миру независимо от человека. Однако мы вступим в

слишком сомнительную дискуссию, если будем следовать этому биологическому пониманию слова “априори”. Это понимание приведено здесь лишь в качестве примера того, как можно в кантовском априоризме истолковать понятие “относительная истина”.

Современная физика использовалась здесь как иллюстрация — или, лучше сказать, как модель — с целью проверить результаты некоторых важных философских систем прошлого, которые получили, естественно, очень широкое распространение. Выводы, к которым можно прийти в результате

обсуждения философских систем от Декарта до Канта, можно сформулировать следующим образом.

Значения всех понятий и слов, образующиеся посредством взаимодействия между миром и нами самими, не могут быть точно определены. А это значит, что мы не знаем точно, в какой степени они могут нам помочь в познании мира. Иногда мы знаем, что они применяются в некоторых очень широких областях внутреннего или внешнего опыта, но мы никогда точно не знаем, где лежат границы их применимости. Это имеет место

даже в отношении простейших и наиболее общих понятий, как существование или пространство и время. Поэтому путем только рационального мышления никогда нельзя прийти к абсолютной истине.

Конечно, понятия, принимая во внимание их взаимосвязь, могут быть строго определены. Фактически это происходит в том случае, если понятия становятся частью системы аксиом и определений, которые непротиворечиво устанавливаются математически. Такая группа связанных друг с другом понятий может быть применена в широкой области опыта и может помочь нам

найти путь к познанию в этой области. Однако границы их применимости известны все же не точно или не полностью.

[51]

Даже если сознавать, что значение понятий никогда не может быть установлено с абсолютной точностью, все же надо иметь в виду, что некоторые понятия составляют существенную часть нашего естественнонаучного метода, так как они, по крайней мере в настоящее время, образуют конечный результат предшествующего развития человеческого мышления. Возможно,

они унаследованы нами от наших предков, но, как бы то ни было, они служат необходимым инструментом в наше время для всякой научной работы. В этом смысле практически их можно считать априорными, но, быть может, в будущем будет обнаружено дальнейшее ограничение их применения.

[52]

VI. СООТНОШЕНИЕ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ И ДРУГИХ ОБЛАСТЕЙ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Уже неоднократно указывалось на то,

что иногда естественнонаучные понятия могут быть определены в отношении их связей совершенно исчерпывающе. Эта возможность четко выявилась впервые в ньютоновских “Началах”, и именно по этой причине труд Ньютона оказал огромное влияние на все развитие естествознания в последующие столетия. Ньютон начинает свое изложение с нескольких определений и аксиом, связанных друг с другом таким образом, что возникает нечто, что можно назвать “замкнутой системой”. Каждому понятию может быть придан математический

символ, и затем связи между различными понятиями изображаются в виде математических уравнений, которые могут быть записаны с помощью этих символов. Математическое отображение системы обеспечивает невозможность возникновения противоречий внутри системы. Таким образом, возможные движения тел под действием сил представляются в конце концов в виде возможных решений математического уравнения или системы уравнений. Система определений и аксиом, могущая быть записанной в виде некоторого числа

уравнений, рассматривается в таком случае как описание неизменной структуры природы, которая не может зависеть ни от конкретного места протекания процесса, ни от конкретного времени и, следовательно, имеет силу, так сказать, вообще независимо от пространства и времени.

Связь различных понятий системы между собой настолько тесна, что невозможно изменить ни одно из этих понятий, не разрушив одновременно всю систему.

На этом основании система Ньютона долгое время рассматривалась как

окончательная. Наука считала, что в дальнейшем ее задачей является только применение ньютоновской механики ко все более широким областям опыта. И фактически физика почти в течение двух столетий развивалась только в этом направлении.

От теории движения материальной точки можно перейти к механике твердого тела, к вращательному движению, можно перейти также к рассмотрению непрерывного движения жидкостей или колебательных движений упругих тел. Все эти разделы механики были разработаны постепенно, по мере

развития математики, особенно дифференциального исчисления, и результаты проверены в экспериментах. Акустика и гидродинамика стали разделами механики.

[53]

Другой наукой, к которой с успехом можно было применить ньютоновскую механику, была астрономия. Усовершенствование математических методов вело ко все более точному определению движений планет и их взаимных возмущений.

После открытия новых явлений в области электричества и магнетизма электрические и магнитные силы были уподоблены силам тяготения, и их влияние на движение тела снова можно было учесть с помощью аксиом ньютоновской механики. Наконец, в XIX столетии даже теория теплоты была сведена к механике — благодаря предположению о том, что теплота в действительности представляет собой сложное статистическое движение мельчайших частиц вещества. Соединяя с понятиями ньютоновской механики понятия математической теории

вероятностей, Клаузиусу, Гиббсу и Больцману удалось показать, что основные законы учения о теплоте могут быть истолкованы как статистические законы, получающиеся из ньютоновской механики при ее применении к очень сложным механическим системам.

Итак, до этого момента задачи, поставленные ньютоновской механикой, последовательно выполнялись, и это сделало возможным понимание очень широкой области опыта. Первая трудность возникла при рассмотрении в работах Фарадея и Максвелла электромагнитного поля.

В механике Ньютона сила тяготения считалась чем-то заданным, а не предметом дальнейших теоретических исследований. Однако в работах Фарадея и Максвелла силовое поле само стало объектом исследования. Физики решили узнать, как это поле, “силовое поле”, изменяется как функция пространственных координат и времени. Поэтому они предприняли попытку найти уравнение движения для поля, а не элементарные законы движения для тел, на которые поле действует. Это возвращало к представлениям, распространенным в эпоху, предшествующую созданию

ньютоновской механики. Действие, как казалось, может передаваться от одного тела к другому только тогда, когда оба тела касаются друг друга, например при ударе или посредством трения. Ньютон, напротив, предположив существование силы, действующей на больших расстояниях, а именно силы тяготения, ввел в физику новый и очень примечательный способ передачи действия сил. Теперь в теории силовых полей можно было в определенном смысле возвратиться к более старым представлениям о том, что действие всегда передается только от точки к соседней точке, и в

математическом плане это требовало бы описания поведения полей дифференциальными уравнениями. Это оказалось действительно возможным, и поэтому описание электромагнитного поля, данное Максвеллом с помощью известных уравнений, считалось удовлетворительным решением проблемы сил или силовых полей. Однако в этом пункте программа, предписанная в свое время ньютоновской механикой, была фактически видоизменена. Аксиомы и определения Ньютона относились к телам и их движению. В теории же Максвелла силовые поля приобрели

ту же самую степень реальности, что и тела в ньютоновской теории.

[54]

Новое понимание было принято, естественно, не сразу и не без возражений. Чтобы как-то избежать подобных изменений в наших представлениях о реальности, электромагнитные поля пытались сопоставить с полями упругих деформаций и натяжений и, следовательно, световые волны теории Максвелла — со звуковыми волнами в упругих телах. Поэтому многие физики полагали, что на самом деле уравнения Максвелла

относятся к деформациям упругой среды, которую они называли эфиром. Это название было дано, только чтобы подчеркнуть, что среда является настолько легкой и разряженной, что она проникает внутрь других веществ и не может быть ни видима, ни ощутима. Такое объяснение было, конечно, не очень удовлетворительным, поскольку при данном способе рассуждений нельзя было усмотреть, почему в свете нет продольных колебаний.

Наконец, теория относительности, о которой речь будет идти в следующей главе, показала совершенно убедительно, что от понятия эфира

как субстанции, к которой относятся уравнения Максвелла, следует отказаться. Аргументы, доказывающие этот вывод, здесь не могут быть изложены подробно. Результатом явилась, во всяком случае, необходимость рассматривать поля как независимую реальность.

Дальнейшим и еще более тревожным выводом специальной теории относительности явилось открытие новых свойств пространства и времени, или, более правильно, связей пространства и времени между собой, связей, которые до того не были известны и, следовательно, не имели места в механике Ньютона.

Под впечатлением этой совершенно новой ситуации многие физики пришли к преждевременному заключению, будто бы ньютоновская механика в настоящее время окончательно опровергнута.

Первичной реальностью является якобы поле, а не тела, и структура пространства и времени правильно описывается формулами Лоренца и Эйнштейна, а не аксиомами Ньютона. Ньютоновская механика справедлива разве только как хорошее во многих случаях приближение, которое, однако, теперь должно быть улучшено, чтобы уступить место более строгому и

более точному описанию природы.

Но такое утверждение с общей точки зрения, наконец-то достигнутой в квантовой теории, надо рассматривать как совершенно неудовлетворительное изображение действительного положения вещей. Ибо, во-первых, это утверждение упускает из виду то обстоятельство, что большинство экспериментов по измерению полей основывается на применении ньютоновской механики, и, во-вторых, механика Ньютона, собственно говоря, не может быть улучшена, она может быть только заменена чем-то от нее существенно отличным.

Развитие квантовой теории показало, что более правильно положение можно описать следующими словами. Всюду, где понятия механики Ньютона могут быть применены для описания процессов природы, законы, сформулированные Ньютоном, также являются справедливыми и не могут быть улучшены. Электромагнитные же явления

[55]

не могут быть должным образом описаны с помощью понятий

ньютоновской механики. Поэтому эксперименты над электромагнитными полями и световыми волнами совместно с их теоретическим анализом, проведенным Максвеллом, Лоренцом и Эйнштейном, привели к новой замкнутой системе определений, аксиом и понятий, которую можно представить с помощью математических символов, к системе, такой же непротиворечивой и замкнутой, что и система ньютоновской механики (хотя и существенно отличающейся от системы Ньютона).

Отсюда следовало, что даже те

ожидания, которые со времени Ньютона сопровождали труд ученого, ныне должны быть изменены. Прогресс науки, очевидно, не мог быть все время связан с тем, что для объяснения новых явлений применялись только известные законы природы. В некоторых случаях наблюдаемые новые явления могут быть поняты только с помощью новых понятий, которые таким же образом соответствуют новым наблюдаемым фактам, как в свое время ньютоновские понятия соответствовали механическим процессам. Новые понятия снова могут быть связаны в замкнутую

систему и выражены с помощью математических символов. Но если прогресс физики или, шире, естествознания идет в этом направлении, то возникает вопрос: каково соотношение между различными системами понятий? Если, например, одни и те же понятия и слова имеются в двух различных системах и определяются в них в отношении своих взаимных связей по-разному, то в каком смысле можно говорить, что эти понятия отображают реальность?

Эта проблема возникла уже в то время, когда создавалась теория относительности. Понятия

пространства и времени необходимы как механике Ньютона, так и теории относительности. Но в механике Ньютона пространство и время независимы друг от друга. В теории относительности они связаны друг с другом преобразованиями Лоренца. В этом частном случае можно, правда, показать, что утверждения теории относительности в предельном случае, когда все скорости тел системы очень малы по сравнению со скоростью света, переходят в утверждения ньютоновской механики. Отсюда можно заключить, что понятия ньютоновской механики не могут

применяться к процессам, при которых имеют место механические скорости, сравнимые со скоростью света. Таким образом, было в конце концов найдено существенное ограничение применимости понятий ньютоновской механики, которое нельзя усмотреть в самой этой замкнутой системе понятий или посредством наблюдений только над механическими системами.

Поэтому соотношение двух различных замкнутых систем понятий всегда требует очень тщательного исследования. Прежде чем приступить к общему обсуждению структуры таких

замкнутых и взаимосвязанных систем понятий и их возможных соотношений, необходимо хотя бы кратко перечислить те системы понятий, которые определены и разработаны в физике к настоящему времени. В наши дни можно различать четыре большие системы, уже нашедшие свою окончательную форму.

[56]

Первая система — механика Ньютона — уже обсуждалась. Она пригодна для описания всех механических процессов, движения жидкостей и упругих колебаний тел.

Она включает акустику, статику, аэродинамику и гидродинамику. Астрономия, в той степени, в какой она имеет дело с движениями небесных светил, также принадлежит к этой системе.

Вторая замкнутая в себе система сформировалась в XIX столетии в связи с теорией теплоты. Хотя в конечном счете теорию теплоты удалось благодаря созданию так называемой статистической механики связать с механикой, эту систему было бы лучше все же не рассматривать как часть механики. Ибо по крайней мере в феноменологической теории

теплоты используется ряд понятий, не имеющих аналога в других разделах физики, а именно понятия теплоты, удельной теплоты, энтропии, свободной энергии и т. д. Если от этого феноменологического описания переходят к статистическому, рассматривая теплоту как энергию, статистически распределенную по многим степеням свободы системы, обусловленным атомарным строением вещества, теория теплоты оказывается тогда связанной с механикой не более, чем с электродинамикой или какими-нибудь другими разделами физики.

Центральным понятием такого статистического толкования учения о теплоте является понятие вероятности, тесно связанное с понятием энтропии в феноменологической теории. Наряду с ним решающую роль в статистической теории теплоты играет также понятие энергии. Но всякая замкнутая в себе и непротиворечивая система определений и аксиом в физике обязательно должна содержать также понятия энергии, количества движения, вращательного момента, а также требования, что эти величины при определенных внешних условиях

должны сохраняться. Последнее имеет место, как показывает более точное исследование, только тогда, когда замкнутая система должна описывать черты природы, относящиеся ко всем моментам времени и положениям, другими словами — черты, не зависящие от координат и времени, или, как выражаются математики, инвариантные относительно определенных сдвигов в пространстве и во времени, относительно вращений в пространстве или преобразований Галилея или Лоренца. Тем самым теория теплоты может быть связана с

какой угодно из других замкнутых систем понятий в физике.

Третья замкнутая система понятий и аксиом выведена из электрических и магнитных явлений, получив свою окончательную форму в первом десятилетии XX века в работах Лоренца, Эйнштейна и Минковского. Она охватывает электродинамику, специальную теорию относительности, оптику, магнетизм, и в нее можно включить даже дебройлевскую теорию волн материи, и при этом — для всех элементарных частиц различных видов. Правда, волновая механика Шредингера к этой системе не

принадлежит.

Наконец, четвертая замкнутая система — квантовая теория, в том ее виде, как она описана в первых двух главах этой книги. Ее центральным понятием является функция вероятности, или, если использовать более строгий математический язык, “статистическая матрица”.

[57]

Эта система охватывает квантовую и волновую механику, теорию атомных спектров, химию и теорию других свойств материи, как, например,

проводимости, ферромагнетизма и т. д.

Соотношения между этими четырьмя замкнутыми системами понятий можно, пожалуй, обрисовать следующим образом. Первая система содержится в третьей как предельный случай, когда скорость света можно считать бесконечной; она содержится также в четвертой как предельный случай, когда планковский квант действия можно считать бесконечно малым. Первая и отчасти третья системы необходимы для четвертой как априорное основание для описания экспериментов. Вторая система

может быть без труда связана с каждой из трех других и особенно важна в соединении с четвертой. Независимость существования третьей и четвертой систем наводит на мысль о существовании пятой замкнутой системы понятий, в которой первая, третья и четвертая содержатся как предельные случаи. Эта пятая система когда-нибудь будет найдена в связи с теорией элементарных частиц.

При этом перечислении замкнутых систем понятий мы оставили в стороне общую теорию относительности, так как эта система понятий еще не нашла,

пожалуй, своей окончательной формы, но следует отметить, что она определенно отличается от четырех других систем.

После этого краткого обзора вернемся к более общему вопросу о том, что именно следует рассматривать в качестве основания таких замкнутых систем аксиом и определений. Важнейшая черта состоит, пожалуй, в том, что можно найти непротиворечивое математическое представление системы. Такое представление гарантирует, что сама система не содержит никаких внутренних противоречий. Далее, система

должна быть пригодной для описания широкой области опыта. Многообразие явлений в рассматриваемой области должно соответствовать многообразию решений, допускаемых уравнениями математической схемы. Границы этой области опыта не могут быть, вообще говоря, выведены из понятий. Понятия не определены строго в отношении их соотнесения с природой — в противоположность их строгому определению в отношении их возможных взаимных связей. Границы применимости понятий должны, следовательно, находиться эмпирически, то есть

просто из того факта, что эти понятия начиная с определенных моментов более не достаточны для полного описания наблюдаемых явлений.

После этого краткого анализа структуры современной физики следует обсудить соотношение между физикой и другими ветвями естествознания. Ближайшая соседка физики — химия. Фактически обе эти науки слились благодаря квантовой теории в нечто совершенно единое. Но сто лет назад они еще далеко отстояли друг от друга, их методы исследования были совершенно различны, и понятия

химии в то время еще не имели никаких аналогичных им понятий в физике. Такие понятия, как валентность, активность, растворимость или летучесть, имели скорее качественный характер, и химия в то время вряд ли являлась точной наукой. Как только в середине прошлого

[58]

столетия была развита теория теплоты, ее начали применять к химическим процессам, и с этого времени научные работы в этой области определялись надеждой, что в один прекрасный день

закономерности химии можно будет свести к механике атома. Но необходимо подчеркнуть, что в рамках ньютоновской механики это оказалось невозможным. Чтобы дать количественное описание химических закономерностей, необходимо сформулировать значительно более глубокую систему понятий атомной физики. Это удалось в конце концов сделать в квантовой теории, корни которой, таким образом, лежат в химии в такой же степени, как и в атомной физике. Далее было легко осознать, что химические закономерности не могут быть сведены просто к

НЬЮТОНОВСКОЙ механике атомных частиц, так как химические элементы обнаруживают в своем поведении степень устойчивости, совершенно не свойственную механическим системам. Но только в боровской теории атома 1913 года эта точка зрения была высказана совершенно отчетливо. В качестве конечного результата можно, например, установить, что химические понятия в определенном смысле являются дополнительными по отношению к механическим понятиям. Если мы знаем, что атом находится в “низшем энергетическом состоянии”, определяющем его

химическое поведение, то мы не можем говорить в то же самое время о движении электронов в этом атоме.

Современное соотношение между биологией, с одной стороны, и физикой и химией — с другой, имеет, возможно, определенное сходство с соотношением между химией и физикой, имевшимся сто лет назад. Методы биологии весьма отличаются от методов физики и химии, а типично биологические понятия имеют скорее качественный характер, чем характер понятий точных естественных наук. Такие понятия, как жизнь, орган, клетка, функции органа, ощущение, не

имеют подобных себе в физике или химии. С другой стороны, существенный прогресс, достигнутый в последние сто лет в биологии, получен благодаря применению к живым организмам законов физики и химии, и все устремления современной биологии направлены на то, чтобы объяснить биологические явления на основе известных физических и химических закономерностей. Здесь встает вопрос, обоснованна ли эта надежда.

Подобно тому как ранее в химии, ныне на основании самых простых биологических опытов осознают, что живые организмы обнаруживают

такую степень устойчивости, какую вообще сложные структуры, состоящие из многих различных молекул, без сомнения, не могут иметь только на основе физических и химических законов. Поэтому к физическим и химическим закономерностям должно быть что-то добавлено, прежде чем можно будет полностью понять биологические явления.

В отношении этого вопроса в биологической литературе часто обсуждаются две четко отличающиеся друг от друга точки зрения. Одна из них ссылается на эволюционное учение Дарвина в его

отношении к современной генетике. Согласно этой теории, единственным понятием, которое необходимо добавить к физике и химии,

[59]

чтобы понять жизнь, является понятие истории. Огромный период времени, примерно в четыре миллиарда лет, прошедший со времени образования Земли, дал природе возможность перебрать почти неограниченное многообразие молекулярно-групповых структур. Среди этих структур в конце концов появились такие, которые могли самоусложняться на основе более

мелких групп окружающего вещества, и подобные структуры могли поэтому создаваться в большом количестве. Случайные изменения структур обуславливали еще большее многообразие имевшихся структур. Различные структуры вступали в борьбу за вещества, которые можно было использовать в окружающей материи. Таким образом, благодаря дарвиновскому отбору, благодаря “выживанию наиболее приспособленных” осуществилось в конце концов развитие живых организмов. Вряд ли можно сомневаться в том, что теория

содержит очень большую долю истины, и многие биологи утверждают, что для объяснения всех биологических явлений вполне достаточно добавить к замкнутой системе понятий физики и химии понятия истории и развития. Один из аргументов, который часто приводят в пользу этой теории, подчеркивает, что повсюду, где можно проверить законы физики и химии, они всегда оказываются справедливыми также и в отношении живых организмов. Нельзя указать, кажется, ни одной точки, в которой можно было бы обнаружить действие особой жизненной силы, отличной от

известных сил физики.

С другой стороны, именно этот аргумент очень много потерял в смысле своей убедительности в результате развития квантовой теории. Так как понятия физики и химии образуют замкнутую и непротиворечивую систему, а именно систему квантовой теории, уже из этого с необходимостью следует, что всюду, где эти понятия вообще могут быть применены для описания явлений, должны быть справедливы и связанные с этими понятиями законы. Всегда, когда живые организмы рассматриваются как физические и химические системы,

они должны и вести себя как таковые. Единственный вопрос, касающийся степени правильности этой точки зрения, состоит в том, дают ли физические и химические понятия возможность полного описания организмов. Биологи, отвечающие на этот вопрос “нет”, склоняются, вообще говоря, ко второй точке зрения, которая сейчас и будет нами рассмотрена.

Эта вторая точка зрения, пожалуй, может быть описана следующим образом. Трудно представить себе, что такие понятия, как ощущение, функционирование органа, склонность и т. д., должны

принадлежать замкнутой системе понятий квантовой теории, если даже связать ее с понятием истории. С другой стороны, именно названные понятия, несомненно, необходимы для полного описания жизни, даже если исключить при таком рассмотрении прежде всего людей, так как существование человека ставит проблемы, выходящие за рамки биологии. Поэтому для понимания процессов жизни, вероятно, будет необходимо выйти за рамки квантовой теории и построить новую замкнутую систему понятий, предельными случаями

которой позднее могут оказаться и физика и химия. История может оказаться существенной частью этой системы, и такие понятия, как ощущение, приспособление, склонность, также будут отнесены к ней. Если эта точка зрения правильна, то соединения теории Дарвина с физикой и химией будет недостаточно для объяснения органической жизни. Но всегда будет оставаться справедливым то, что живые организмы в широком плане могут рассматриваться как физико-химические системы — как машины, по формулировке Декарта и Лапласа, и то, что, если их рассматривать как

машины, они будут и вести себя как машины. Одновременно можно было бы принять, как предложил Бор, что наше знание о том, что клетка живет, возможно, является чем-то дополнительным по отношению к полному знанию ее молекулярной структуры. Так как полное знание этой структуры, по-видимому, может быть достигнуто только благодаря вмешательству, которое уничтожает жизнь клетки, то логически возможно, что жизнь исключает полное установление лежащих в ее основе физико-химических структур. Но даже если эту вторую точку зрения считать правильной,

биологическим исследованиям едва ли можно рекомендовать иной путь, чем тот, которому мы обязаны большинством успехов за прошедшие столетия. Необходимо пытаться, насколько можно, объяснить все на основе известных физических и химических законов, и поведение организмов необходимо описывать тщательно и без теоретических предубеждений.

Первая из названных точек зрения распространена среди современных биологов более широко, чем вторая. Но экспериментальный материал, имеющийся в распоряжении в настоящее время, вряд ли может быть

достаточен, чтобы определенно выбрать одну из них. Предпочтение, которое многие биологи оказывают первой точке зрения, может быть снова косвенным следствием картезианского разделения, оказавшего за прошедшие столетия столь глубокое влияние на человеческое мышление. Так как под “существом мыслящим” понимался только человек, я, то животные не могли иметь души, они относились исключительно к “существам протяженным”. Отсюда следует, что для изучения животных можно применять те же методы исследования, что и для материи

вообще, и что законов физики и химии вместе с понятием истории должно быть достаточно, чтобы объяснить их поведение. Если теперь в рассмотрение включаются “существа мыслящие”, согласно Декарту, возникает совершенно новое положение, требующее также совершенно новых понятий. Но картезианское разделение является опасным упрощением, и поэтому вполне возможно, что правильна вторая точка зрения.

Независимо от этого вопроса, который пока не может быть решен, мы, по-видимому, еще очень далеки от замкнутой и непротиворечивой

системы понятий для описания биологических явлений. Степень сложности в биологии столь обескураживающа, что сейчас еще нельзя представить, как может быть создана какая-нибудь замкнутая система, понятия которой определены столь четко, что становится возможным математическое представление.

[61]

Если выходят за рамки биологии и включают в обсуждение психологию, то едва ли можно сомневаться в том, что понятий физики и химии вместе с понятиями учения о развитии еще

недостаточно для объяснения и описания фактов психологии. В этом пункте возникновение квантовой теории решительно изменило наши воззрения по сравнению с воззрениями XIX столетия. В то время некоторые ученые были склонны полагать, что факты психологии могут быть в конечном счете объяснены физикой и химией человеческого мозга. С точки зрения квантовой механики для таких предположений нет больше никаких оснований. Хотя в мозге физические процессы имеют отношение к психическим, все же нельзя предположить, что эти физические

процессы достаточны для объяснения психических явлений. Мы, естественно, не стали бы сомневаться в том, что мозг ведет себя как физико-химический механизм, если его рассматривают в качестве такового. Но для понимания психических явлений следовало бы исходить из того факта, что в данном случае человеческий дух выступает в психологии и как объект, и как субъект научного исследования.

Если теперь рассмотреть еще раз различные замкнутые системы понятий, которые были созданы в прошлом или, возможно, будут созданы в будущем с целью научных

исследований, то примечательно, что эти системы располагаются, по-видимому, в направлении возрастания вклада субъективных элементов в систему понятий.

Классическая физика может рассматриваться как идеализация, при которой мы говорим о мире как о чем-то полностью от нас самих не зависящем. Первые три системы понятий соответствуют этой идеализации. Только первая из этих систем вполне соответствует понятию “априори” кантовской философии. В четвертой системе понятий, в квантовой теории, человек выступает как субъект науки

— благодаря тем вопросам, которые ставятся перед природой и которые должны быть сформулированы в априорных понятиях человеческого естествознания. Квантовая теория уже не допускает вполне объективного описания природы. В биологии для полноты картины важно иметь в виду, что вопросы формулируются биологическим видом “человек”, который сам принадлежит к числу живых организмов, — другими словами, то, что мы уже знаем, что представляет собой жизнь, даже до того, как дали ей научное определение. Но, видимо, не следует подробно развивать чисто

спекулятивные соображения о возможной структуре системы понятий, которая еще вовсе не построена.

Если этот порядок или упорядочение сравнить с более старыми системами классификации, принадлежащими к более ранним эпохам естествознания, то примечательно, что в таком случае мир разделяется не на различные группы объектов, а на различные группы связей. В один из более ранних периодов естествознания различали, например, минералы, растения, животных, людей. Эти объекты рассматривались, каждый в своей

группе, как имеющие различную природу, образованные из различных веществ и определяемые в своем поведении действием различных сил. Теперь мы знаем, что в конечном

[62]

счете всегда имеется одно и то же вещество, одни и те же химические соединения различного рода, которые могут входить в состав любого произвольного объекта — минералов, так же как и животных или растений. И силы, действующие между различными частями вещества, существенно одинаковы в различных объектах. Что можно

действительно различать, так это род связей, наиболее существенных для определенных явлений. Если мы, например, говорим о действии химических сил, то имеем в виду род связи более сложный или, во всяком случае, отличный от того, который дан в ньютоновской механике. Мир представляется при такой точке зрения в виде сложного сплетения процессов, где весьма разнообразные связи меняются, пересекаются и действуют вместе и таким путем определяют структуру всего сплетения.

Если мы описываем группу связей с помощью замкнутой и связной

системы понятий, аксиом, определений и законов, что со своей стороны может быть снова представлено в виде материальной схемы, то мы фактически изолируем и идеализируем эту группу связей — с целью их научного изучения. Но даже если достигнута полная ясность, то всегда остается еще не известным, насколько точно соответствует эта система понятий реальности.

Эта идеализация может считаться также частью человеческого языка, возникшего в процессе нашей двусторонней “игры” с миром — как ответ человека на требования

природы. При такой точке зрения идеализацию можно сравнить, например, с различными стилями в искусстве, скажем, со стилями архитектуры или музыки. Стил можно определить как систему формальных правил, применяемых к материалу теми или иными видами искусства. Эти правила хотя и не могут быть удовлетворительно представлены с помощью системы математических понятий и уравнений, но их основные элементы все же очень родственны основным элементам математики или математического описания природы. Равенство, неравенство, повторение

и симметрия, определенные групповые структуры играют в искусстве, так же как и в математике, фундаментальную роль. Обычно для развития формальной системы, являющейся стилем в искусстве, необходим труд нескольких поколений — чтобы пройти путь от его простых, исходных приемов до богатства более сложных форм, характеризующего завершение стиля. Интерес художника концентрируется на этом процессе кристаллизации, при котором материал искусства благодаря его деятельности принимает различные формы, вызванные к жизни исходными

формальными понятиями этого
стиля в искусстве. После завершения
развития интерес с необходимостью
снова убывает, ибо слово “интерес”
означает “быть при чем-то, в чем-
то”, принимать участие в творческом
процессе. Тогда этот процесс
приходит к своему концу. Здесь
также нельзя решить на основании
самых формальных правил,
насколько правила стиля
представляют ту реальность жизни,
которая имеется в виду в
произведениях искусства. Искусство
всегда есть известная идеализация;
идеал всегда отличен от реальности
— по крайней мере от реальности

теней, как говорил Платон, — но идеализация — необходимая предпосылка понимания.

Это сравнение различных систем понятий естествознания с различными стилями в искусстве, если рассматривать последние как довольно произвольные создания человеческого духа, может показаться весьма ошибочным. Можно было бы, например, в таком случае приводить в доказательство то, что различные системы понятий в естествознании отображают

объективную реальность, которую нам преподносит природа, и что поэтому они не содержат никакого произвола, а, напротив, представляют собой необходимые следствия нашего все более растущего познания природы посредством эксперимента. В этом большинство естествоиспытателей, пожалуй, было бы согласно. Но являются ли различные виды стилей в искусстве произвольным созданием человеческого духа? Здесь также надо иметь в виду картезианское разделение на существа мыслящие и существа протяженные. Стилль возникает из взаимного общения

между миром и нами самими, или, точнее, между духом времени и художником. Дух времени, вероятно, является столь же объективным фактом, как и какой-нибудь факт естествознания, и этот дух раскрывает определенные черты мира, которые сами независимы от времени и в этом смысле могут быть названы вечными. Художник пытается в своем произведении сделать эти черты понятными, и при этой попытке он приходит к формам стиля, в котором он и работает.

Поэтому оба процесса в науке и искусстве не так уж различны. Наука и искусство за прошедшие столетия

образовали человеческий язык, на котором мы можем говорить о более удаленных сторонах действительности, и связанные системы понятий представляют собой. точно так же и различные стили в искусстве, в известной степени только различные слова или группы слов этого языка.

[64]

VII. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Теория относительности всегда играла в современной физике особо важную роль. В ней впервые была показана необходимость

периодического изменения
основополагающих принципов
физики. Поэтому обсуждение тех
проблем, которые были подняты и
отчасти решены теорией
относительности, существенно
необходимо для рассмотрения
философских аспектов современной
физики. В известном смысле можно
сказать, что создание теории
относительности — в
противоположность квантовой
теории — потребовало сравнительно
немного времени с момента
окончательного осознания
трудностей, о которых в данном
случае шла речь, до их разрешения.

Повторение опыта Майкельсона Морлеем и Миллером в 1904 году явилось первым надежным доказательством невозможности обнаружить поступательное движение Земли с помощью оптических методов, а решающая работа Эйнштейна появилась менее чем два года спустя. С другой стороны, опыт Морлея и Миллера и работа Эйнштейна явились все-таки, пожалуй, лишь последними фазами развития, которое началось гораздо ранее и которое, по-видимому, можно связать с проблемой “электродинамики движущихся сред”.

Электродинамика движущихся сред оказалась важным разделом физики и техники с того времени, как начали строить электромоторы. Серьезная трудность выявилась в этой области только тогда, когда Максвелл вскрыл электромагнитную природу световых волн. Эти волны одним существенным свойством отличаются от других, уже известных ранее волн, например от звуковых волн. Они могут распространяться в пустом пространстве. Если звонок заставить звучать в сосуде, из которого откачан воздух, то звук не достигает пространства вне сосуда. Свет же свободно проходит сквозь

безвоздушное пространство. Поэтому предположили, что световые волны можно рассматривать как упругие волны в очень легкой субстанции, называемой эфиром, которую нельзя ни видеть, ни ощущать, но которая заполняет как безвоздушное пространство, так и пространство, занятое другим веществом, например воздухом или стеклом. Мысль о том, что электромагнитные волны обладают своей собственной реальностью, независимой ни от каких тел, в то время еще не приходила физикам в голову. Так как это гипотетическое вещество — эфир — могло проникать во все

другие тела, то встал вопрос: что происходит, если тело приведено в движение? Принимает ли эфир участие в этом движении, и если да, то как распространяется световая волна в этом движущемся эфире?

[65]

Эксперименты, которые дают ответ на этот вопрос, трудны по следующей причине: скорости движущихся тел обычно чрезвычайно малы по сравнению со скоростью света. Поэтому движение этих тел может вызвать только очень незначительные эффекты, приблизительно пропорциональные

отношению скорости тела к скорости света или более высокой степени этого отношения. Разнообразные эксперименты Вильсона, Роуланда, Рентгена, Эйхенвальда и Физо позволили измерить такие эффекты с точностью, соответствующей первой степени этого отношения.

Электронная теория, развитая Лоренцом в 1895 году, дала удовлетворительное описание этих эффектов “первого порядка”. Но эксперимент Майкельсона, Морлея и Миллера создал новую ситуацию.

Этот эксперимент следует обсудить подробно. Чтобы получить большие эффекты, а тем самым и более

точные результаты, казалось целесообразным экспериментировать с телами, двужущимися очень быстро. Земля движется вокруг Солнца со скоростью около 30 км/сек. Если эфир покоится относительно Солнца и не увлекается Землей, то это быстрое движение эфира относительно Земли с необходимостью должно проявляться в изменении скорости распространения света на Земле. Тогда должны получаться различные значения скорости света, смотря по тому, как распространяется свет — в направлении движения Земли или

перпендикулярно к этому направлению. Даже если эфир увлекается Землей частично, должен еще получаться некоторый эффект, так как имел бы место, так сказать, эфирный ветер, и этот эффект должен тогда зависеть, вероятно, от высоты над уровнем моря, на которой проводится эксперимент. Вычисление эффекта, который следует ожидать, показывает, что он в данном случае должен быть очень малым, так как оказывается пропорциональным квадрату отношения скорости Земли к скорости света. Поэтому необходимо поставить точные эксперименты по

интерференции двух световых пучков, один из которых направлен параллельно, а другой — перпендикулярно к направлению движения Земли. Первый эксперимент такого рода, выполненный Майкельсоном в 1881 году, был недостаточно точен. Но и последующие повторные эксперименты не обнаружили ни малейших следов ожидаемого эффекта. Такого рода окончательным доказательством того, что эффект ожидаемого порядка величины не имеет места, являются в особенности эксперименты Морлея и Миллера 1904 года.

Их результат казался сначала непонятным, но он имеет отношение и к другому вопросу, незадолго до этого уже обсуждавшемуся физиками. В ньютоновской механике справедлив определенный принцип относительности, который можно характеризовать следующими словами: если в определенной системе отсчета законы ньютоновской механики выполняются для механического движения тела, в таком случае это имеет место и в любой другой системе отсчета, движущейся относительно первой системы равномерно и прямолинейно.

Равномерное и прямолинейное движение не вызывает, таким образом, никаких

[66]

механических эффектов в этой системе, и поэтому эти эффекты не могут служить средством обнаружения такого движения.

Подобного рода принцип относительности, как казалось физикам, не мог быть справедлив в оптике и электродинамике. Ибо если первая система покоится относительно эфира, то движущаяся система, напротив, не находится в

состоянии покоя, и отсюда следует, что движение этой второй системы относительно эфира можно наблюдать благодаря эффектам того рода, которые были исследованы Майкельсоном. Отрицательный результат опыта Морлея и Миллера 1904 года позволял поэтому снова воскресить идею о том, что принцип относительности такого рода все-таки, вероятно, мог быть также справедлив в электродинамике, как и ранее в ньютоновской механике.

С другой стороны, имелся старый опыт Физо 1851 года, который, казалось, непосредственно противоречил этому принципу

относительности. Физо исследовал скорость света в движущейся жидкости. Если бы принцип относительности был справедлив, то суммарная скорость света в движущейся жидкости должна была бы быть равной сумме скорости жидкости и скорости света в покое жидкости. Однако это было не так. Опыт Физо показал, что суммарная скорость была несколько меньше, чем указанная сумма.

Несмотря на это, отрицательный результат всех новейших попыток обнаружить движение относительно эфира побуждал физиков и математиков искать такое

математическое толкование этих опытов, которое могло бы согласовать друг с другом волновое уравнение для распространения света и принцип относительности. Поэтому Лоренц предложил в 1904 году математическое преобразование, которое удовлетворяло этому требованию⁹. Он должен был для этого ввести гипотезу, что движущиеся тела сокращаются в направлении своего движения (причем коэффициент сокращения зависит от скорости тела), а также что в различных системах отсчета измеряются различные кажущиеся промежутки времени, которые во

многих опытах играют ту же роль, какую до сих пор играли реальные промежутки времени. На таком пути он смог прийти к результатам, соответствующим принципу относительности; кажущаяся скорость света была теперь в каждой системе отсчета одной и той же. Подобные идеи обсуждались Пуанкаре, Фицджеральдом и другими физиками.

Решающий шаг был сделан в 1905 году Эйнштейном, истолковавшим кажущееся время в преобразованиях Лоренца как время реальное и исключившим из рассмотрения время, которое Лоренц называл

“истинным”. Это означало изменение оснований физики — совершенно неожиданное и радикальное изменение, для которого именно и была необходима смелость молодого и революционного гения. Чтобы сделать этот шаг в плане математического описания природы, надо было лишь применить к опыту преобразование Лоренца непротиворечивым образом. Однако благодаря новому истолкованию этого преобразования изменялись представления физиков о структуре пространства и времени, и многие проблемы физики предстали поэтому

в новом свете Эфирная субстанция,
[67]

например, оказывалась ненужной и могла быть просто вычеркнута из учебников физики. Так как в таком случае все системы отсчета, находящиеся относительно друг друга в состоянии равномерного и прямолинейного движения, при описании природы эквивалентны друг другу, то более не имеет никакого смысла высказывание о том, будто есть такая эфирная субстанция, которая в одной определенной системе из этих систем отсчета находится якобы в

состоянии покоя. На самом деле принимать во внимание такую субстанцию больше не имеет смысла и много проще говорить, что световые волны распространяются в пустом пространстве и что электромагнитные поля обладают своей собственной реальностью и могут существовать в пустом пространстве.

Решающее изменение, однако, затрагивает структуру пространства и времени. Очень трудно описать это изменение словами обычного языка без применения математики, так как обычные слова “пространство” и “время” уже относятся к структуре

пространства и времени,
представляющей собой идеализацию
и упрощение действительной
структуры. Несмотря на это,
необходимо попытаться описать
новую структуру, и, пожалуй, это
можно сделать следующим образом.
Когда мы употребляем слово
“прошлое”, то тем самым имеем в
виду все те события, о которых мы,
по крайней мере в принципе, можем
что-то знать и получить какие-то
сведения. Подобным же образом
слово “будущее” охватывает все те
события, на которые мы, по крайней
мере в принципе, еще можем
воздействовать, которые мы можем

как-то пытаться изменить или воспрепятствовать их свершению. Хотя сразу трудно утверждать, почему эти определения слов “прошлое” и “будущее” следует считать особенно целесообразными, но можно легко показать, что они в самом деле очень точно соответствуют обычному употреблению этих выражений. Если их употребляют подобным образом, то, как показывают результаты многих экспериментов, область событий, относимых к будущему или прошлому, не зависит от состояния движения или других свойств наблюдателя. На более строгом

математическом языке можно сказать, что введенное определение инвариантно относительно перемещений наблюдателя. Оно справедливо как в ньютоновской механике, так и в теории относительности Эйнштейна.

Но здесь возникает существенное различие: в классической теории мы принимаем, что будущее и прошлое отделены друг от друга бесконечно малым интервалом времени, который можно назвать настоящим мгновением. В теории же относительности мы видели, что дело обстоит несколько иначе. Будущее отделено от прошлого

конечным интервалом времени, длительность которого зависит от расстояния до наблюдателя. Какое угодно воздействие может распространяться только со скоростью, которая меньше или равна скорости распространения света. Поэтому наблюдатель в данное мгновение не может ни знать, ни оказать влияние на событие, происшедшее в некоторой удаленной точке в промежутке между двумя характеристическими моментами времени. Первый момент — мгновение, в которое должен

быть послан из места события световой сигнал, который достигнет наблюдателя в момент наблюдения. Другой момент — мгновение, в которое световой сигнал, посланный наблюдателем в момент наблюдения, достигает места события. Весь конечный интервал времени между обоими этими мгновениями может быть назван для наблюдателя в данный момент наблюдения “настоящим”. Ибо любое событие, происшедшее в этот интервал времени, не может в момент выполнения наблюдения ни стать известным наблюдателю, ни испытать какое-либо воздействие

последнего, и именно так было определено понятие “настоящее”. Всякое событие, имеющее место между обоими характеристическими моментами времени, может быть названо “одновременным с актом наблюдения”.

Использование выражения “может быть названо” уже указывает на двусмысленность слова “одновременно”, объясняющуюся тем, что слово “одновременно” возникло из опыта повседневной жизни, в пределах которого скорость света можно считать практически бесконечно большой. На самом же деле слово “одновременно” может

быть определено в физике несколько иначе, и Эйнштейн использовал в своих работах это второе определение “одновременности”. Если два события в одной и той же точке пространства происходят одновременно, мы говорим, что они совпадают. Это выражение совершенно однозначно. Теперь представим себе три точки в пространстве, лежащие на одной прямой линии таким образом, что средняя точка находится на одном и том же расстоянии от обеих крайних. Если два события в обеих внешних точках происходят в такие моменты времени, что световые сигналы,

посланные в момент свершения событий, приходя в среднюю точку, совпадают, то оба события можно определить как “одновременные”. Это определение является в данном случае более узким, чем первое. Одно из его важнейших следствий состоит в том, что, когда два события одновременны для одного наблюдателя, они, возможно, не одновременны для другого наблюдателя; это будет иметь место, если второй наблюдатель движется относительно первого. Соотношение между обоими определениями слова “одновременно” можно выразить высказыванием: во всех случаях,

когда два события одновременны в первом смысле, можно найти также систему отсчета, в которой они одновременны и во втором смысле. Несколько более наглядно положение вещей в целом можно, пожалуй, изобразить следующим образом: предположим, что спутник, вращающийся вокруг Земли, испускает сигнал, который через некоторый малый промежуток времени принимается станцией наблюдения на Земле. Эта станция наблюдения в ответ на данный сигнал посылает спутнику команду, которую он принимает через некоторый малый промежуток

времени. Весь интервал времени между посылкой сигнала и приемом команды можно считать на спутнике, согласно первому определению, одновременным с моментом приема сигнала на Земле. Если на спутнике выбирается какое-либо определенное мгновение из этого интервала, то, хотя это мгновение, вообще говоря, в смысле второго определения, не

[69]

“одновременно” с моментом приема сигнала на Земле, всегда существует система отсчета, в которой эта одновременность имеет место.

Первое определение слова “одновременно” кажется несколько более соответствующим обычному употреблению этого слова в повседневной жизни, так как вопрос о том, одновременны ли два процесса, в повседневной жизни определенно не зависит от системы отсчета. В обоих же релятивистских определениях понятие одновременности приобрело ту точность, которая совершенно отсутствовала у него в языке повседневной жизни. В квантовой теории физики должны были уже заранее осознать, что понятия классической механики описывают

природу недостаточно точно, что квантовые законы ограничивают их применимость и что поэтому при их использовании необходима большая осторожность. В теории относительности физики, напротив, пытались изменить смысл слов классической физики, уточнив эти понятия таким образом, чтобы они точно соответствовали новой, только что познанной ситуации в природе.

Структура пространства и времени, выявленная теорией относительности, находит много проявлений в самых различных разделах физики. Электродинамика движущихся тел может быть без

труда выведена из принципа относительности. Сам этот принцип может быть сформулирован как весьма общий закон природы, относящийся не только к электродинамике или механике, но и к любой группе законов природы: законы должны принимать одну и ту же форму во всех системах отсчета, отличающихся друг от друга лишь состоянием равномерного и прямолинейного движения. Они инвариантны, как можно сказать на языке математики, относительно преобразований Лоренца.

По-видимому, наиболее важным следствием принципа

относительности является установление свойства инерции энергии, или эквивалентности массы и энергии. Так как скорость света играет роль предельной скорости, которая никогда не может быть достигнута никаким материальным телом, то можно легко понять, что движущееся тело должно приобретать ускорение с большим трудом, чем еще покоящееся тело. Инерция, стало быть, увеличивается с возрастанием кинетической энергии. Говоря обобщенно, каждый вид энергии несет в себе определенную инерцию, то есть массу, и масса, соответствующая

данной энергии, равна этой энергии, деленной на квадрат скорости света. Всякая энергия несет, стало быть, с собой массу, но даже очень большие — по обычным понятиям — количества энергии дают все-таки лишь очень небольшое увеличение массы, и это является причиной того, что связь массы и энергии ранее не была обнаружена. Два закона — закон сохранения массы и сохранения энергии — потеряли свою независимую друг от друга справедливость и оказались объединенными в единый закон, который можно назвать законом сохранения энергии или массы.

50 лет назад, когда была создана теория относительности, эта гипотеза об эквивалентности массы и энергии революционизировала физику, но экспериментальных доказательств этого закона было тогда

[70]

очень мало. В наши дни можно во многих экспериментах непосредственно видеть, как элементарные частицы рождаются из кинетической энергии и как такие частицы могут снова исчезнуть, превратившись в излучение. Поэтому

ныне превращение энергии в массу и наоборот не представляет собой ничего необыкновенного.

Огромные количества энергии, которые освобождаются при атомных взрывах, представляют собой другое и гораздо более очевидное доказательство справедливости соотношения Эйнштейна. Но, вероятно, здесь следует сделать критическое замечание исторического порядка. Иногда утверждают, что огромные количества энергии возникают при атомных взрывах непосредственно вследствие превращения массы в энергию и что эти гигантские

количества энергии могли быть предсказаны только на основе теории относительности. Это мнение основано, однако, на недоразумении. Большие количества энергии, запасенные в недрах атомных ядер, были известны со времени экспериментов Беккереля, Кюри и Резерфорда по радиоактивному распаду. Любое радиоактивное вещество, например радий, выделяет количество тепла, которое может быть высвобождено из такого же количества вещества в химической реакции. Энергия распада ядра урана имеет то же происхождение, что и энергия альфа-

распада ядра радия, а именно в основном электростатическое отталкивание двух обломков, на которые атомное ядро распалось. Энергия, высвобождающаяся при атомном взрыве, выделяется, стало быть, непосредственно из этого источника, а не возникает благодаря превращению массы в энергию. Ибо число элементарных частиц с конечной массой покоя во время атомного взрыва совершенно не уменьшается. Правда, энергия связи “строительных кирпичей” атомного ядра проявляет себя также в массах покоя ядер, и поэтому высвобождение энергии косвенно

связано и с изменением масс атомных ядер.

Эквивалентность массы и энергии, кроме своего огромного значения для практической физики, подняла также вопросы, связанные с очень старой философской проблематикой.

Различные философские системы прошлого исходили из тезиса, что субстанция, или материя, неуничтожима. Эксперименты, которые проводятся в современной физике, показали, что элементарные частицы, например, позитроны и электроны, могут быть уничтожены и превращены в излучение. Означает ли это, что более старые

философские системы тем самым опровергнуты новейшим опытом и что аргументы, выдвигающиеся в этих более ранних системах, должны считаться ложными?

Это было бы, несомненно, несколько преждевременное и неоправданное заключение, ибо понятия “субстанция” и “материя” в античной или средневековой философии нельзя просто отождествлять с понятием “масса” в современной физике. Если наши современные знания выразить на языке более старых философских систем, то можно было бы, например, массу и энергию

рассматривать в качестве двух различных форм одной и той же субстанции и, таким образом, сохранить представление о неуничтожимости субстанции.

[71]

С другой стороны, едва ли можно сказать, что так уж много достигают, выражая новейшие знания на старом языке. Философские системы прошлого сформировались из всей совокупности знаний того времени и поэтому соответствуют тому образу мышления, какой приводил к этим знаниям. Имеется полное основание считать, что философы,

размышлявшие о природе много столетий назад, не могли предвидеть развитие квантовой теории или теории относительности. Поэтому понятия, к которым философы давно прошедшего времени пришли на основе анализа своих знаний о природе, не могут ныне соответствовать явлениям, могущим быть наблюдаемыми только с помощью сложнейших -технических средств нашего времени.

Но прежде чем будут обсуждены философские выводы из теории относительности, следует еще кратко обрисовать ее дальнейшее развитие.

Гипотетическая субстанция “эфир”, игравшая столь важную роль в более ранних истолкованиях теории Максвелла в XIX столетии, как это уже упоминалось выше, была устранена теорией относительности. Это обстоятельство часто выражают также в виде утверждения, что теорией относительности было устранено абсолютное пространство. Но такое утверждение нуждается в некоторых оговорках. Правда, согласно специальной теории относительности, больше нельзя выбрать определенную систему отсчета, относительно которой эфир покоился бы и которая по этой

причине заслуживала бы название “абсолютной”. Но было бы все же неправильно утверждать, что теперь пространство будто бы потеряло все физические качества. Уравнения движения материальных тел или полей все еще принимают различный вид в “обычной” системе отсчета и в другой системе, равномерно вращающейся относительно “обычной” системы отсчета. Если ограничиваются теорией относительности 1905, 1906 годов, то существование, центробежных сил во вращающейся системе отсчета доказывает, что существуют физические свойства пространства,

позволяющие отличить вращающиеся системы от невращающихся.

В философском плане это не кажется удовлетворительным, и было бы предпочтительнее приписывать физические свойства только физическим объектам, как, например, материальным телам или полям, а не пустому пространству. Однако если ограничиться рассмотрением электромагнитных процессов и механических движений, то наличие этих свойств у пустого пространства следует просто из фактов, которые не могут быть оспорены, например из факта существования центробежной силы.

Тщательный анализ этой ситуации привел Эйнштейна примерно десятилетие спустя к весьма важному обобщению теории относительности, обычно называемому “общей теорией относительности”. Но, прежде чем перейти к изложению основных идей новой теории, необходимо сказать несколько слов о степени достоверности, которая гарантирует справедливость этих двух разделов теории относительности. Теория, созданная в 1905 — 1906 годах, то есть так называемая “специальная” теория относительности, основана на множестве

очень точно проверенных экспериментальных фактов — на опытах Майкельсона и Морлея и многих других подобных экспериментах, на эквивалентности массы и энергии в очень большом числе радиоактивных процессов, на очень точно наблюдаемой зависимости времени жизни радиоактивных объектов от скорости радиоактивных частиц и т. д. Эта теория является, таким образом, твердым, надежным основанием современной физики и при нашем сегодняшнем знании не может быть оспорена.

В отношении общей теории относительности экспериментальные доказательства, напротив, гораздо менее убедительны, так как в общем экспериментальный материал очень ограничен. Имеется только несколько астрономических наблюдений, с помощью которых можно проверить справедливость предположений теории относительности. Поэтому вторая теория более гипотетична, чем первая.

Решающая фундаментальная гипотеза общей теории

относительности — предположение о тождестве тяготеющей и инертной масс. Весьма тщательные измерения показали, что масса тела, определяемая его весом, в точности пропорциональна другой массе, определяемой инерцией тела. Даже самые точные измерения никогда не давали никаких отклонений от этого закона. Если этот закон имеет универсальное значение, то силы тяготения могут быть поставлены в параллель с центробежными или другими силами, возникающими как реакция на инерционные воздействия. Так как центробежные силы должны быть поставлены в

связь с физическими свойствами
пустого пространства, как это
показано выше, то Эйнштейн пришел
к гипотезе о том, что силы тяготения
также соответствуют свойствам
пустого пространства. Это был очень
важный шаг, который тотчас же
сделал необходимым новый шаг в
том же направлении. Мы знаем, что
силы тяготения вызываются массами.
Поэтому если тяготение связано со
свойствами пространства, то эти
свойства пространства должны быть
порождены массой или испытывать
воздействия масс. Центробежные
силы во вращающейся системе
отсчета, возможно, должны

вызываться вращением относительно этой системы весьма удаленных масс вселенной.

Чтобы провести в жизнь программу, намеченную в этих утверждениях, Эйнштейн должен был связать эти основополагающие физические соображения с математической схемой общей геометрии, развитой Риманом. Так как свойства пространства, очевидно, непрерывно меняются с изменением гравитационных полей, то геометрия мира должна быть подобной геометрии искривленных поверхностей, на которых прямые линии евклидовой геометрии

должны быть заменены геодезическими линиями, то есть линиями наименьшей длины, и кривизна непрерывно меняется от точки к точке. В качестве окончательного результата Эйнштейн смог предположить в конце концов математическую формулировку соотношения между распределением масс и параметрами, определяющими геометрию. Эта теория правильно отображает общеизвестные факты, характеризующие тяготение. Она в очень хорошем приближении идентична с обычной

теорией тяготения и, кроме того, предсказывает некоторые очень интересные эффекты, лежащие как раз на границе возможностей измерительных приборов. К ним относится, например, влияние силы тяготения на излучение.

Если массивная звезда испускает монохроматическое излучение, то световые кванты, удаляясь от звезды в поле ее тяготения, теряют часть своей энергии. Отсюда следует, что испускаемые спектральные линии должны испытывать смещение к красному концу спектра. До сих пор нет еще, как очень ясно показало

обсуждение Фрейндлихом проведенных доныне опытов, ни одного не вызывающего возражений экспериментального доказательства наличия этого красного смещения. Но было бы также преждевременно заключить, что опыты якобы опровергли предсказания теории Эйнштейна.

Луч света, проходящий вблизи Солнца, должен отклоняться полем тяготения Солнца. Это отклонение имеет, как экспериментально показано Фрейндлихом и другими астрономами, предсказываемый порядок величины. Но совпадает ли отклонение точно с предсказываемой

теорией Эйнштейна величиной — этот вопрос остался еще не решенным.

Лучшим экспериментальным доказательством справедливости общей теории относительности является, кажется, движение перигелия орбиты планеты Меркурий, величина которого, по-видимому, находится в очень хорошем согласии с предсказаниями теории.

Хотя, таким образом, экспериментальный базис общей теории относительности еще довольно узок, она, однако, содержит

идеи огромнейшей степени важности. В течение всего времени развития математики от античности до XIX столетия евклидова геометрия рассматривалась как самоочевидная. Аксиомы Евклида имели отношение к основаниям любой математической теории геометрического характера и представляли собой базис, который не мог быть поставлен под сомнение. Затем в XIX столетии математики Больяй и Лобачевский, Гаусс и Риман нашли, что можно построить другие геометрии, которые могут быть развиты с той же математической строгостью, что и евклидова.

Поэтому вопрос о том, какая геометрия является справедливой, с этого времени становится эмпирическим. И только в трудах Эйнштейна этот вопрос смог быть поставлен как физический.

Геометрия, о которой идет речь в общей теории относительности, включает в себя не только геометрию трехмерного пространства, но и четырехмерное многообразие пространства и времени. Теория относительности устанавливает связь между геометрией этого многообразия и распределением масс во вселенной. Значит, эта теория поднимает в новой форме

старые вопросы пространства и времени в случае очень больших расстояний, и она предполагает ответы, которые могут быть проверены наблюдениями.

Следовательно, можно снова поставить очень старые философские вопросы, занимавшие человеческий разум со времени самых ранних эпох философии и науки: конечно или бесконечно пространство? Что было до начала времени? Что будет в конце времени? Или у времени

нет ни начала, ни конца? Эти вопросы нашли различные ответы в различных религиях и философских системах. В философии Аристотеля, например, все пространство вселенной представлялось как конечное, хотя оно и было бесконечно делимо. Пространство возникает благодаря протяженности тел, оно в известном смысле растягивается телами. Поэтому там, где нет никаких тел, нет и пространства. Вселенная состоит из Земли, Солнца и звезд — конечного числа тел. По ту сторону сферы неподвижных звезд нет никакого пространства. Поэтому пространство

вселенной и было конечным. В философии Канта этот вопрос принадлежал к тому, что он назвал “антиномиями”, — к числу вопросов, на которые нельзя ответить, так как два различных доказательства ведут к взаимно противоположным выводам. Пространство не может быть конечным, потому что мы не можем себе представить “конец” пространства. И какой бы точки пространства мы ни достигли, мы всегда представляем себе, что можем двигаться еще дальше. Но пространство не может быть и бесконечным, потому что

пространство — это нечто, что мы можем себе представить, иначе понятия пространства не возникло бы вовсе, а мы не можем представить себе бесконечное пространство В отношении этого второго утверждения доказательство Канта нельзя передать дословно. Утверждение “пространство бесконечно” означает для нас нечто негативное: мы не можем дойти до “конца” пространства. Для Канта, однако, бесконечность пространства означает нечто действительно данное, нечто, что “существует” в смысле, который мы едва ли можем выразить. Кант приходит к выводу,

что на вопрос о том, конечно или бесконечно пространство, нельзя дать никакого рационального ответа, потому что вселенная в целом не может быть предметом нашего опыта.

Подобное же положение возникает и относительно проблемы бесконечности времени. В исповеди Августина, например, вопрос поставлен в следующей форме: “Что делал бог до того, как он создал мир?” Августин не был удовлетворен известным ответом: “Бог был занят тем, что создавал ад для людей, задающих глупые вопросы”. Это был бы слишком дешевый ответ, полагает

Августин; и он пытается рационально проанализировать проблему: только для нас время течет, только мы ожидаем его как будущее, оно протекает для нас как настоящее мгновение, и мы вспоминаем о нем, как о прошлом. Но бог не находится во времени. Тысяча лет для него — что один день, и один день — что тысяча лет. Время было создано вместе с миром, оно, стало быть, принадлежит миру, и поэтому в то время, когда не существовало вселенной, не было и никакого времени. Для бога весь ход событий во вселенной был дан сразу. Значит, не было никакого времени до

того, как мир был создан богом.

Правда, легко понять, что в подобных формулировках понятие “создан” тотчас же приводит к существенным трудностям. Это слово, в том виде как оно обычно употребляется, означает нечто, что возникает и чего ранее не существовало, и в этом смысле оно уже предполагает понятие времени. Поэтому в рациональных выражениях невозможно

[75]

дать определение того, что можно понимать под оборотом речи “время

было создано”. Это обстоятельство снова напоминает нам часто обсуждаемый урок, который необходимо извлечь из новейшего развития физики, а именно: что всякое слово или всякое понятие, каким бы ясным оно нам ни казалось, имеет все-таки только ограниченную область применения.

Эти вопросы о бесконечности пространства и времени могут быть в общей теории относительности поставлены и отчасти — на основании эмпирического материала — решены. Если теория правильно описывает связь четырехмерной геометрии пространства и времени с

распределением масс во вселенной, то астрономические наблюдения о распределении спиральных туманностей в пространстве могут дать нам информацию о геометрии вселенной. Тогда можно будет построить по крайней мере модели вселенной, космологические картины, следствия которых могут быть сравнены с эмпирическими фактами.

Наши современные астрономические познания не позволяют окончательно решить, какую из нескольких возможных моделей следует выбрать. Может оказаться, что пространство вселенной конечно. Но это не

означало бы, что в каком-нибудь месте есть “конец” вселенной. Это вело бы только к тому, что если бы мы все далее и далее продвигались во вселенной в одном определенном направлении, то в конце концов должны были бы возвратиться к точке, из которой начали движение. Положение, стало быть, напоминало бы двумерную геометрию на поверхности Земли, где мы также, если будем двигаться из определенной точки все далее и далее, скажем, в восточном направлении, в конце концов возвратимся к этой точке с запада.

Что касается времени, то здесь,

кажется, что-то вроде “начала” имело место. Многие наблюдения указывают на то, что вселенная около 4 миллиардов лет назад имела “начало” или, во всяком случае, что в то время материя вселенной была сконцентрирована в значительно меньшем объеме пространства, чем сейчас, и что с того времени вселенная все еще продолжает расширяться из этого небольшого объема с различными скоростями. Это одно и то же время в 4 миллиарда лет все снова и снова появляется во многих различных наблюдениях, например возраста метеоритов, минералов на Земле и т.

д., и поэтому было бы, вероятно, затруднительно найти этому объяснение, совершенно отличное от идеи возникновения мира 4 миллиарда лет назад. Если идея “возникновения” в этой форме окажется правильной, то это будет означать, что по ту сторону указанного момента времени — то есть ранее чем 4 миллиарда лет назад — понятие времени должно претерпеть существенные изменения. Это более осторожное заключение становится на место простой формулировки о создании мира. При современном состоянии астрономических наблюдений эти

вопросы геометрии пространства-времени еще не могут быть решены с какой-нибудь степенью надежности. Но уже довольно интересно знать, что эти вопросы, возможно, позднее смогут быть решены в один прекрасный момент на прочной основе астрономических знаний.

[76]

Даже если дальнейшее рассмотрение ограничить более надежно обоснованной специальной теорией относительности, то можно не сомневаться, что эта теория в огромной степени изменила наши представления о структуре

пространства и времени. Беспокоит в этих изменениях, пожалуй, не столько их особенная природа, сколько тот факт, что они вообще оказались возможны. Структура пространства и времени, которую Ньютон математически установил в качестве основы своего описания природы, не содержала никаких внутренних противоречий, была проста и очень точно соответствовала употреблению понятий пространства и времени, к которому мы привыкли в повседневной жизни. Соответствие фактически было столь близким, что ньютоновские определения можно

было рассматривать просто как точную математическую формулировку этих понятий пространства и времени повседневной жизни. До теории относительности считалось само собой разумеющимся, что процессы могут быть упорядочены во времени независимо от их расположения в пространстве. Мы знаем, что в повседневной жизни это впечатление возникает потому, что скорость света значительно больше каких угодно других скоростей, с которыми имеют дело в повседневной жизни. В то время это ограничение, естественно, никто не представлял себе

отчетливо. Но даже при условии, что сейчас мы знаем об этом ограничении, едва ли можно себе представить, что порядок событий во времени должен зависеть от их пространственного расположения, то есть от места, в котором они происходят.

Философия Канта позднее привлекла внимание к тому факту, что понятия пространства и времени включаются в наши отношения с природой, а не только принадлежат природе самой. Мы не можем описывать природу, не пользуясь этими понятиями. Поэтому в известном смысле эти понятия априорны, они

представляют собой прежде всего условие опыта, а не результат опыта, и потому вообще предполагается, что они не могут быть изменены новым опытом. Ввиду этого необходимость изменения оказалась большой неожиданностью. Ученые в первый раз ощутили, какая необходима осторожность при попытках применить понятия повседневной жизни к усовершенствованному на базе новейшей экспериментальной техники опыту. Даже точная и непротиворечивая формулировка этих понятий на математическом языке ньютоновской механики или их тщательный анализ в философии

Канта не дали никакой гарантии от необходимости их критического анализа, который стал возможен позднее благодаря исключительно точным измерениям. Это предупреждение позднее оказалось для развития новейшей физики чрезвычайно полезным, и понять квантовую теорию было бы наверняка значительно труднее, если бы успех теории относительности не предостерег физиков от некритического применения понятий, которые заимствованы из повседневной жизни или классической физики.

VIII. КРИТИКА И КОНТРАПРЕДЛОЖЕНИЯ В ОТНОШЕНИИ КОПЕНГАГЕНСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

Копенгагенская интерпретация квантовой теории далеко увела физиков от простых материалистических воззрений, господствующих в естествознании XIX столетия. Так как эти воззрения были не только самым тесным образом связаны с естествознанием того времени, но и очень обстоятельно проанализированы в некоторых философских системах и

благодаря этому очень глубоко проникли в само мышление человечества, то вполне понятно, что было предпринято много попыток подвергнуть копенгагенскую интерпретацию критике и заменить ее другой, более соответствующей представлениям классической физики и материалистической философии.

Эти попытки предпринимаются с позиций, которые можно разделить на три различные группы. Представители первой группы хотя и принимают полностью копенгагенскую интерпретацию экспериментов, по крайней мере

поскольку это касается экспериментов, проведенных до настоящего времени, но не удовлетворены используемым при этом языком, то есть лежащей в основе ее философией, и заменяют ее другой. Другими словами: они пытаются изменить философию, не меняя при этом физики. В некоторых работах представителей этой первой группы согласие с копенгагенской интерпретацией ограничивается экспериментальными предсказаниями этой интерпретации относительно всех экспериментов, которые были до сих пор проведены или которые только имеют

отношение к обычной физике электронов.

Представители второй группы ясно представляют себе, что копенгагенская интерпретация является единственно приемлемым истолкованием, если экспериментальные данные действительно повсюду согласуются с предсказаниями этой интерпретации. Поэтому в работах этой группы делаются попытки в определенных критических пунктах изменить квантовую теорию.

Наконец, представители третьей группы просто выражают свою

общую неудовлетворенность квантовой теорией, не выдвигая при этом определенных контрпредложений, будь они физического или философского характера. К представителям этой группы можно причислить Эйнштейна, Лауэ и Шредингера. Исторически возражения против копенгагенской интерпретации выдвигались прежде всего этой группой.

[78]

Все оппоненты квантовой теории едины, однако, в одном пункте. Было бы желательно, по их мнению,

возвратиться к представлению о реальности, свойственному классической физике, или, говоря на более общем философском языке, к онтологии материализма, то есть к представлению об объективном, реальном мире, мельчайшие части которого существуют столь же объективным образом, что и камни и деревья, независимо от того, наблюдаем мы их или нет.

Но как разъяснено в одной из предыдущих глав, это невозможно или, во всяком случае, вследствие природы атомных явлений, возможно не полностью. Нашей задачей не может являться высказывание

пожеланий относительно того, какими должны быть, собственно говоря, атомные явления. Нашей задачей может быть только понимание их.

Когда разбирают работы представителей первой группы, то важно с самого начала иметь в виду, что толкования, содержащиеся в этих работах, не могут быть опровергнуты экспериментом, так как они ведь только повторяют копенгагенскую интерпретацию на другом языке. Со строго позитивистской точки зрения можно было бы даже сказать, что здесь мы имеем дело совсем не с контрпредложениями, выдвинутыми

против копенгагенской интерпретации, а с их точным повторением на другом языке. Поэтому можно только спорить о целесообразности этого языка. Эта группа контрпредложений использует идею “скрытых параметров”. Так как законы квантовой теории предсказывают результаты эксперимента, вообще говоря, только статистически, то, основываясь на классической точке зрения, можно было бы предположить, что существуют скрытые параметры, которые, будучи ненаблюдаемы в любом обычном эксперименте, в действительности

определяют результат эксперимента, как это всегда считалось ранее в соответствии с принципом причинности. Поэтому в некоторых работах была предпринята попытка изобрести такие параметры внутри рамок квантовой механики.

В этом плане выдвинул, например, свои контрпредложения против копенгагенской интерпретации Бом, идеи которого недавно были до некоторой степени поддержаны также де Бройлем ¹⁰.

Интерпретация Бома разработана вплоть до деталей. Поэтому она может служить здесь основой

обсуждения. Бом рассматривает частицы как объективно существующие структуры, подобно материальным точкам классической механики. Волны в конфигурационном пространстве являются в его интерпретации также “объективно существующими”, подобно электрическим полям. Правда, конфигурационное пространство представляет собой пространство многих измерений, относящихся к различным координатам всех принадлежащих систем частиц. В связи с этим возникает первая трудность: что имеют в виду, когда называют волны

в конфигурационном пространстве
“реально существующими”?

Конфигурационное пространство
представляет собой очень
абстрактное пространство. Слово же
“реальное” происходит от латинского
слова “res” и означает “предмет”,
“вещь”. Но вещи существуют в
обычном, трехмерном, а не в
абстрактном конфигурационном

[79]

пространстве. Рассмотрение волн в
конфигурационном пространстве в
качестве объективных имело бы
оправдание лишь в том случае, если
бы мы этим рассмотрением хотели

сказать, что эти волны не зависят от наблюдателя. Но все же их вряд ли можно назвать действительно существующими, или реальными, если мы только не хотим произвольно менять значение слов. Бом определяет затем линии, пересекающие поверхности постоянной фазы под прямым углом, как возможные траектории частиц. Какая из этих линий окажется действительной траекторией частицы, зависит, по мнению Бомы, от истории системы и свойств измерительного прибора, и решить этот вопрос, не зная о системе и измерительном приборе больше того,

что фактически может быть известно, нельзя. Эта история (системы и прибора) фактически содержит в таком случае “скрытые параметры”, а именно реальную траекторию электрона до того, как эксперимент начался.

Одним из следствий этой интерпретации, как подчеркнул Паули, является то, что электроны многих атомов в стационарном состоянии должны покоиться, что они, стало быть, не должны совершать никаких движений по орбитам вокруг атомного ядра Это кажется на первый взгляд противоречащим эксперименту, так

как измерения скоростей электронов в основном состоянии (например, с помощью Комптон-эффекта) всегда дают в итоге некоторое распределение электронов основного состояния по скоростям, которое в соответствии с правилами квантовой механики дается квадратом волновой функции в пространстве скоростей (импульсов). В этом случае, однако, Бом может ответить, что измерение не подлежит больше рассмотрению на основании прежних законов. Поэтому хотя при обычной оценке результата измерения в качестве распределения по скоростям будет получаться квадрат волновой

функции в пространстве скоростей (импульсов), но если при рассмотрении измерительной аппаратуры принимать во внимание квантовую теорию и особенно введенные Бомом *ad hoc* квантовомеханические потенциалы, то вывод — в действительности электроны в стационарном состоянии всегда покоятся — был бы все-таки допустим. Этому соответствует тот факт, что введенные Бомом в этой связи квантовые потенциалы имеют очень странные свойства: например, они отличны от нуля на любом сколь угодно большом расстоянии. Такой ценой Бом надеется получить

возможность утверждать: “Для нас нет необходимости отказываться в области квантовой теории от точного, рационального и объективного описания индивидуальных систем” Но такое объективное описание разоблачает себя при этом как разновидность идеологической надстройки, только в очень малой степени связанной с непосредственной физической реальностью. Ибо ведь скрытые параметры в интерпретации Бома таковы, что они никогда не могут встретиться в описании реальных процессов, поскольку квантовая теория остается неизменной.

Чтобы избежать этой трудности, Бом высказал надежду, что в будущих экспериментах (например, на расстояниях, меньших 10^{-13} см)

[80]

скрытые параметры все-таки еще будут иметь физический смысл, и тем самым квантовая теория может оказаться ложной. Бор по поводу высказывания таких надежд обычно говорит” что по структуре они подобны приблизительно такому утверждению: “Можно надеяться, что впоследствии окажется, что в некоторых случаях $2 \times 2 = 5$, ибо это

было бы выгодно для наших финансов”. На самом деле исполнение надежд Бома лишило бы почвы не только квантовую механику, но тем самым и интерпретацию Бома. Конечно, в то же время необходимо подчеркнуть, что приведенная аналогия, хотя она и представляется полной, не является с точки зрения логики неотразимым аргументом против возможного будущего изменения квантовой теории в предлагаемом Бомом направлении. Ибо в принципе можно себе представить, что, например, последующее развитие математической логики может

придать определенный смысл утверждению, что в исключительных случаях 2×2 может быть равно 5 и что в таком случае эта обобщенная математика, возможно, даже будет использоваться для вычислений в области экономики. И все же на основании фактов, не прибегая даже к убедительным логическим аргументам, мы убеждены, что такие изменения в математике ничем не смогут помочь нашим финансам. Поэтому непонятно и то, как могут быть применены для описания физических явлений те математические идеи, на которые Бом указывает как на возможное

осуществление своих надежд.

Если отвлечься от этого возможного изменения квантовой теории, то язык Бома, как уже отмечалось, не говорит в отношении физики ничего иного, чем язык копенгагенской интерпретации. В таком случае остается только вопрос о целесообразности этого языка.

Наряду с тем, что мы уже отмечали о траекториях частиц, когда рассматривали эти рассуждения как ненужную идеологическую надстройку, следует также отметить, что язык Бома разрушает присущую квантовой теории симметрию координат и скоростей, или, точнее

говоря, координат и импульсов. Так как свойства симметрии всегда имеют отношение к сокровеннейшей физической сущности теории, то остается непонятным, что мы выиграем от устранения их в соответствующем языке.

Подобное же возражение в несколько другой форме можно привести и против статистической интерпретации Боппа и несколько отличной от нее интерпретации Феньеша. Бопп принимает в качестве основного квантово-механического процесса возникновение и уничтожение частиц, которые являются реальными в классическом

смысле слова, а именно в смысле материалистической онтологии, и законы квантовой механики рассматриваются как особый случай корреляционной статистики, которая здесь применяется к процессам возникновения и порождения частиц. Такая интерпретация может быть проведена, как показал Бопп, без противоречий, и она проливает свет на интересные связи между квантовой теорией и корреляционной статистикой. С физической точки зрения она ведет к тем же самым выводам, что и копенгагенская интерпретация. В позитивистском смысле она,

следовательно, опять же изоморфна этой интерпретации, так же как и интерпретация Бома. Однако в ее языке нарушается симметрия волн и частиц, являющаяся обычно особенно характерной чертой математической схемы квантовой теории. Уже в 1928 году Иордан, Клейн и Вигнер показали, что эта математическая схема может быть истолкована не только как квантование движения частиц, но и как квантование трехмерных материальных волн. Нет, следовательно, основания считать

волны материи менее реальными, чем частицы. Симметрия волн и частиц могла бы в интерпретации Боппа сохраниться, пожалуй, в том случае, если бы соответствующая корреляционная статистика была развита и в применении к материальным волнам в пространстве и времени и если бы, таким образом, можно было оставить открытым вопрос о том, частицы или волны следует считать настоящей реальностью ¹¹ .

Предположение о реальном в смысле материалистической онтологии существовании частиц всегда

необходимо ведет к попыткам считать, что по крайней мере в принципе возможны отклонения от соотношения неопределенностей. Например, Феньеш утверждает, что существование соотношения неопределенностей, которое он также связывает с определенными статистическими соотношениями, никоим образом не исключает возможность одновременного и сколь угодно точного измерения координат и скорости. Однако Феньеш не указывает, как такие измерения должны практически выглядеть, и поэтому его соображения, по-видимому,

остаются абстрактно-математическими.

Вейцель, предложения которого родственны предложениям Бома и Феньеша, связывает искомые скрытые параметры с новым, придуманным *ad hoc* сортом частиц, зеронами, которые никаким способом невозможно наблюдать. Представление такого рода таит в себе опасность, что взаимодействие реальных частиц с зеронами приведет к рассеянию энергии по большому числу степеней свободы поля зеро-нов, так что вся термодинамика превратится в хаос. Вейцель не объяснил, как он сможет

преодолеть эту опасность.

Точку зрения, из которой исходили в критике копенгагенской интерпретации все группы рассмотренных до сих пор физиков, вероятно, можно лучше всего охарактеризовать, если вспомнить дискуссию, посвященную специальной теории относительности. Те, кто не был удовлетворен устранением Эйнштейном абсолютного пространства и абсолютного времени, могли аргументировать примерно следующим образом. Специальная теория относительности никоим образом не

доказала, что не существует абсолютное пространство и абсолютное время. Она только показала, что истинное пространство и истинное время во всех обычных экспериментах себя не проявляют. Но если правильно учесть соответствующие законы природы и таким образом ввести для движущихся систем координат правильные кажущиеся времена, то ничто не будет говорить против предположения об абсолютном пространстве. Было бы даже правдоподобно предположить, что центр тяжести нашей Галактики (по крайней мере

приближенно) покоится в абсолютном пространстве. Критик специальной теории относительности мог еще добавить, что можно надеяться, что в будущем измерения сделают определение абсолютного пространства, так сказать “скрытого параметра” теории относительности, возможным и тем самым теория относительности будет опровергнута.

Эту аргументацию нельзя, как это сразу видно, опровергнуть экспериментально, так как при этом

не делается никаких утверждений, отличающихся от утверждений специальной теории относительности. Но такая интерпретация теории относительности нарушала бы, по крайней мере на применяемом языке, как раз важнейшее свойство симметрии теории относительности, а именно инвариантность относительно преобразований Лоренца, и поэтому ее следует считать неприемлемой.

Аналогия обсуждений специальной теории относительности с обсуждениями квантовой теории очевидна. Законы квантовой

механики таковы, что введенные ad hoc скрытые параметры никогда нельзя будет наблюдать. Кроме того, важнейшие свойства симметрии были бы нарушены, если бы мы ввели в интерпретацию теории скрытые параметры в качестве фиктивных величин.

Возражения, которые содержатся в работах Блохинцева и Александрова, по самой постановке довольно отличны от обсужденных выше. Эти возражения с самого начала ограничиваются исключительно философской стороной вопроса. В физическом плане Блохинцев и Александров без всяких оговорок

соглашаются с копенгагенской интерпретацией. Тем более резкими оказываются внешние формы полемики: “Среди самых разнообразных идеалистических направлений в современной физике так называемая “копенгагенская школа” — наиболее реакционная. Разоблачению идеалистических и агностических спекуляций этой школы вокруг коренных проблем квантовой механики и посвящена данная статья”, — пишет Блохинцев во введении к одной из своих статей. Резкость полемики показывает, что здесь идет речь не только о науке, но и о веровании. Цель критики

высказана в заключение статьи цитатой из сочинения Ленина: “Как ни диковинно с точки зрения “здорового смысла” превращение невесомого эфира в весомую материю и обратно, как ни “странно” отсутствие у электрона всякой иной массы, кроме электромагнитной, как ни необычно ограничение механических законов движения одной только областью явлений природы и подчинение их более глубоким законам электромагнитных явлений и т. д. — все это только лишнее *подтверждение*

диалектического материализма”¹².
Хотя, стало быть, предпосылки работ

Блохинцева и Александрова лежат вне области естествознания, все же обсуждение их аргументов весьма поучительно.

В данном случае главная задача заключается в спасении материалистической онтологии, поэтому атакам подвергается прежде всего введение в интерпретацию квантовой теории наблюдателя. Александров пишет: “Поэтому под результатом измерения в квантовой механике

[83]

нужно понимать объективный

эффект взаимодействия электрона с подходящим объектом. Разговоры о наблюдателе нужно исключить и иметь дело с объективными условиями и объективными эффектами. Физическая величина есть объективная характеристика явления, а не результат наблюдения”. Волновая функция характеризует, согласно Александрову, объективное состояние электрона.

В своем изложении Александров упускает, что взаимодействие системы с измерительным прибором в том случае, когда прибор и система считаются изолированными от остального мира и в целом

рассматриваются в соответствии с квантовой механикой, как правило, не ведет к определенному результату (например, к почернению фотопластины в определенной точке). Когда против этих заключений выдвигают утверждение: “Но в действительности пластинка после взаимодействия все-таки почернела в определенном месте”, то тем самым от квантово-механического рассмотрения изолированной системы, состоящей из электрона и пластины, отказываются. В этом заключается фактический характер события, которое может быть описано с

помощью понятий повседневной жизни, в математическом формализме квантовой теории непосредственно не содержится и в копенгагенскую интерпретацию входит благодаря введению представления о наблюдателе. Конечно, не следует понимать введение наблюдателя неправильно, в смысле внесения в описание природы каких-то субъективных черт. Наблюдатель выполняет скорее функции регистрирующего “устройства”, то есть регистрирует процессы в пространстве и времени; причем дело не в том, является ли наблюдатель аппаратом или живым

существом; но регистрация, то есть переход от возможного к действительному, в данном случае, безусловно, необходима и не может быть исключена из интерпретации квантовой теории. В этом пункте квантовая теория самым тесным образом связана с термодинамикой, поскольку всякий акт наблюдения по всей своей природе является необратимым процессом. Только посредством таких необратимых процессов формализм квантовой теории может быть непротиворечивым образом связан с действительными процессами в пространстве и времени. С другой

стороны, необратимость, если ее снова перевести на язык математического изображения событий, является следствием неполноты знаний, которые наблюдатель имеет о системе, и поэтому не является все-таки чем-то вполне объективным.

Формулировки Блохинцева несколько иные, чем Александрова. “В квантовой механике состояние частицы характеризуется действительно не “само по себе”, а принадлежностью частицы тому или иному ансамблю (смешанному или чистому). Эта принадлежность имеет совершенно объективный

характер и не зависит от сведений наблюдателя”. Такие формулировки уводят на самом деле уж очень далеко (даже слишком далеко) от онтологии материализма. Дело в том, что, например, в классической термодинамике положение иное. При определении температуры системы наблюдатель подразумевает, что система представляет собой только один образец, выбранный

[84]

из канонического ансамбля, и он, следовательно, может считать, что система, по-видимому, обладает различными энергиями. Однако в

действительности система имеет в классической физике в определенный момент времени только определенное значение энергии, все другие значения не реализуются. Наблюдатель, следовательно, впадет в ошибку, если будет считать возможным, что в данный момент существует другое значение энергии. Отсюда канонический ансамбль содержит высказывания не только о самой системе, но и о неполноте сведений наблюдателя о системе. Когда Блохинцев пытается в квантовой теории считать принадлежность системы к ансамблю чем-то вполне

объективным, он употребляет слово “объективный” в смысле, отличающемся от употребления его в классической физике, ибо в ней эта принадлежность означает, как уже было отмечено, высказывание не только о системе, но и о степени знания системы наблюдателем. При рассмотрении квантовой теории необходимо кратко упомянуть об одном исключении. Если ансамбль характеризуется в квантовой теории только единственной волновой функцией в конфигурационном пространстве (а не как обычно — статистической матрицей), то создается особая ситуация (так

называемый “чистый случай”), в котором описание может быть названо в известном смысле объективным и в котором элемент неполного знания непосредственно не обнаруживается. Но так как всякое измерение (из-за связанных с ним необратимых процессов) снова вводит потом элемент неполного знания, то и эта ситуация “чистого случая” все-таки не отличается принципиально от другого, ранее обсужденного более общего случая.

Из всего рассмотренного выше прежде всего видно, как трудно втиснуть новые идеи в старую систему понятий предшествующей

философии, или, употребляя старинное выражение, как трудно наполнить новым вином старые меха. Такие попытки всегда неприятны, потому что заставляют снова и снова заниматься латанием неизбежных дыр в старых мехах, вместо того чтобы наслаждаться новым вином. С точки зрения здравого смысла нельзя ожидать, что мыслители, создавшие диалектический материализм более ста лет назад, могли предвидеть развитие квантовой теории. Их представления о материи и реальности не могут быть приспособлены к результатам нашей

сегодняшней утонченной
экспериментальной техники.

Здесь, пожалуй, следует сделать
дополнительно несколько замечаний
о позиции естествоиспытателя в
отношении определенного
мировоззрения. При этом
безразлично, о религиозном или
политическом мировоззрении идет
речь. Принципиальное различие
религиозного и политического
мировоззрений, заключающееся в
том, что последнее имеет отношение
к непосредственной материальной
реальности мира вокруг нас, в то
время как первое имеет объектом
другую реальность, лежащую по ту

сторону материального мира, в данной постановке проблемы несущественно. Здесь следует обсудить проблему самой веры. Из того, что было до сих пор сказано, следует вывод, что ученый никогда не должен полагаться на какое-то единственное учение, никогда не

[85]

должен ограничивать методы своего мышления одной-единственной философией. Ученый должен быть готов к тому, что благодаря новым экспериментальным данным могут быть изменены и самые основы его знания. Но это требование по двум

соображениям снова представляло бы собой слишком большое упрощение нашего положения в жизни.

Первое соображение состоит в том, что весь образ нашего мышления формируется в нашей юности, благодаря тем идеям, с которыми мы в это время сталкиваемся, или благодаря тому, что мы вступаем в контакт с выдающимися личностями, у которых мы учимся. Этот образ мышления будет оказывать решающее влияние на всю нашу последующую работу, и вследствие этого вполне возможны затруднения в процессе приспособления к

совершенно другим идеям и системам мышления. Второе соображение состоит в том, что мы всегда принадлежим некоему обществу или общности. Эту общность связывают воедино общие идеи, общий критерий моральных ценностей или общий язык, на котором говорят о всеобщих проблемах жизни. Эти общие идеи могут поддерживаться авторитетом церкви, партии или государства, и даже если это не будет иметь место, все равно очень трудно отойти от общепринятых идей, не противопоставляя себя обществу. Но результаты научных размышлений

могут противоречить некоторым из общепринятых идей. Без сомнения, было бы неразумно требовать, чтобы ученый вообще не был лояльным членом общества, чтобы он принципиально отказался от всех благ, которые можно получить, принадлежа коллективу, и было бы столь же неразумно желать, чтобы общие идеи коллектива или общества, которые с научной точки зрения всегда необходимо являются упрощением, следует менять сразу же вслед за очередным успехом научного познания, что эти общие идеи должны быть, следовательно, такими же изменчивыми, как и

научные теории. Поэтому и в наше время мы снова приходим к старой проблеме двойственности истины, которая неоднократно возникала в истории христианской религии в эпоху позднего средневековья. В то время появилось весьма спорное учение о том, что положительная религия независимо от того, какую форму она может принять, является для огромного большинства людей потребностью, в то время как ученый ищет собственно истину по ту сторону религии и может найти ее только там.

Наука является эзотерическим учением, — так было сказано, — она

предназначена только для немногих. В наше время функции положительной религии в некоторых странах взяли на себя политические учения и общественные организации, но проблема, в сущности, осталась той же. Первым требованием в отношении ученого должно всегда оставаться требование интеллектуальной честности, в то время как общество часто будет просить ученого, вследствие изменчивости науки, подождать по крайней мере несколько десятилетий, прежде чем публично высказывать свое расходящееся с общепринятым мнение. Простого

решения этой проблемы — если одной терпимости недостаточно, — вероятно, нет. Но, пожалуй, можно находить некоторое

[86]

утешение в том факте, что здесь речь идет, несомненно, о довольно старой проблеме, относящейся к жизни человека во все времена.

Теперь снова возвратимся к контрпредложениям копенгагенской интерпретации квантовой теории и рассмотрим при этом контрпредложения представителей второй группы. В этих

контрпредложениях попытка построения иной философской интерпретации связана даже со стремлением изменить квантовую теорию. Добросовестная попытка в этом направлении предпринята Яноши, который осознал, что предположение о строгой справедливости квантовой механики заставляет нас отойти от представлений о реальности классической физики. Он поэтому пытается так изменить квантовую механику, чтобы многие ее результаты оставались в силе, но ее структура приближалась к структуре классической физики. Направлением

своей атаки он избрал так
называемую редукцию волнового
пакета, то есть тот факт, что
описывающая систему волновая
функция в момент, когда
наблюдателю становится известным
результат наблюдения, меняется
скачком. Яноши констатирует, что
эта редукция не может быть
выведена из уравнения Шредингера,
и полагает, что отсюда можно
заключить о наличии
непоследовательности
“ортодоксальной” интерпретации.
Как известно, редукция волнового
пакета появляется в копенгагенской
интерпретации всегда в тех случаях

(на языке формализма — всегда для “статистической смеси” состояний) , когда завершается переход от возможного к действительному, то есть когда действительное выбирается из возможного, что, согласно обычному описанию, делает наблюдатель. В основе этого лежит предположение, что интерференционные члены частично погашаются вследствие неконтролируемых взаимодействий измерительного прибора с системой и остальным миром (на языке формализма — взаимодействие “приготавливает” смесь). Яноши пытается в этом пункте, вводя

затухание, так изменить квантовую механику, чтобы интерференционные члены по истечении конечного времени исчезали сами по себе. Даже если бы это соответствовало действительности, — а все проведенные доныне эксперименты не дают для этого никаких оснований, — то при такой интерпретации, как отмечает сам Яноши, остался бы еще ряд нежелательных следствий (например, волны, распространяющиеся быстрее скорости света, изменение временной последовательности

причины и следствия для движущегося наблюдателя, то есть выделение определенных систем отсчета и т. д.). Поэтому мы вряд ли согласимся пожертвовать простотой квантовой теории ради такого рода представлений, пока нас не принудит к этому эксперимент.

Среди других оппонентов “ортодоксальной” интерпретации квантовой теории Шредингер занимает в определенном смысле исключительную позицию, поскольку он хотел бы приписывать объективную реальность не частицам, а волнам и не согласен интерпретировать волны только как

волны вероятности. В своей работе “Существуют ли квантовые скачки?” он пытается вообще отвергнуть квантовые скачки. Но в работе Шредингера прежде всего содержится некоторое

[87]

непонимание обычной интерпретации. Он упускает из виду, что волнами вероятности в обычной интерпретации являются только волны в конфигурационном пространстве — то, что на языке математики можно назвать матрицами преобразования, — а не трехмерные волны материи или

излучения. Последние объективно реальны в столь же большой и в столь же малой степени, что и частицы, хотя они не имеют непосредственно никакого отношения к волнам вероятности, но обладают, подобно максвелловскому полю, непрерывной плотностью энергии и импульса. Конечно, Шредингер правильно подчеркивает, что эти процессы можно считать более непрерывными, чем это делается в большинстве случаев. Однако Шредингер не может этим устранить из мира элемент прерывности, который в атомной физике обнаруживается повсюду,

например очень наглядно — на
сцинтилляционном экране. В
обычной интерпретации квантовой
теории этот элемент содержится в
переходе от возможного к
действительному. Сам Шредингер не
делает никаких контрпредложений
относительно того, как он
представляет себе, например,
введение всюду наблюдаемого
элемента прерывности иначе, чем
это делается в обычной
интерпретации.

Наконец, критика, которая
содержится в различных работах
Эйнштейна, Лауэ и других,
сосредоточивается вокруг вопроса о

том, дает ли копенгагенская интерпретация возможность однозначного, объективного описания физических фактов. Ее наиболее важные аргументы могут быть выражены примерно в следующей форме. Математическая схема квантовой теории кажется вполне достаточным описанием статистики атомных явлений. Но, даже если ее утверждения относительно вероятностей атомных процессов вполне правильны, эта интерпретация все-таки не дает никакого описания того, что происходит на самом деле, независимо от наблюдений или

между нашими наблюдениями. Что-нибудь должно ведь, однако, происходить — в этом мы можем не сомневаться. Это “что-нибудь” может быть, и нельзя описать с помощью понятий электрона, или волны, или светового кванта, но, поскольку оно не описывается каким-либо образом, задача физики еще не выполнена. Нельзя допустить, что квантовая физика относится только к акту наблюдения. Физик должен предполагать в своей науке, что он изучает мир, который создал не он сам и который существовал бы также и без него и в основном точно таким же. Поэтому копенгагенская

интерпретация не дает никакого действительного понимания атомных процессов.

Легко видеть, что эта критика требует просто возврата к старой материалистической онтологии. Что же можно ответить на эту критику с точки зрения копенгагенской интерпретации?

Можно сказать, что физика является частью естествознания и в этом качестве должна стремиться к описанию и пониманию природы. Однако понимание любого рода, будь оно научным или нет, зависит от нашего языка, от того, что мы можем

передавать наши мысли. Всякое описание явлений, опытов и их результатов

[88]

также основывается на языке как на единственном средстве понимания. Слова этого языка выражают понятия повседневной жизни, которые в научном языке физики могут быть уточнены до понятий классической физики. Эти понятия представляют собой единственное средство однозначной передачи сообщений о процессах, расположении приборов в опытах и их результатах. Поэтому когда физика-атомника просят дать

описание того, что реально происходит в его опытах, то слова “описание”, “реальность” и “происходит” могут относиться только к понятиям повседневной жизни или классической физики. Как только физик попытался бы отказаться от этой базы, он потерял бы возможность однозначно объясняться и не смог бы развивать свою науку далее. Поэтому всякое высказывание о том, что на самом деле происходит или произошло, является высказыванием, использующим понятия классической физики. Оно по самой своей природе вследствие законов

термодинамики и соотношения неопределенностей оказывается неполным в отношении тех деталей атомных процессов, о которых в данном случае идет речь.

Требование, что следует описывать и то, что в квантово-механическом процессе происходит в промежутке между двумя следующими друг за другом наблюдениями, является *contradictio in adjecto*, так как слово “описывать” имеет отношение только к применению классических понятий, тогда как эти понятия не могут быть применены в промежутках между двумя наблюдениями. Они могут

применяться только в момент наблюдения.

Необходимо также подчеркнуть, что копенгагенская интерпретация квантовой теории никоим образом не является позитивистской. В то время как позитивизм исходит из чувственных восприятий элементов бытия, копенгагенская интерпретация рассматривает описываемые в классических понятиях объекты и процессы, то есть фактическое, в качестве основы всякого физического объяснения. Вместе с тем признается также, что статистичность природы законов микрофизики устранена быть не

может, так как всякое знание “фактического” в силу квантово-механических законов природы является знанием неполным.

Онтология материализма основывалась на иллюзии, что в атомную область можно экстраполировать способ существования, непосредственно данное окружающего нас мира. Но эта экстраполяция невозможна.

Можно было бы добавить еще некоторые замечания относительно формальной структуры контрпредложений в отношении копенгагенской интерпретации. Все

выдвинутые до сих пор
контрпредложения в отношении
копенгагенской интерпретации
заставляют жертвовать
существенными свойствами
симметрии квантовой теории.
Поэтому вполне можно
предположить, что копенгагенская
интерпретация является
необходимой, если эти свойства
симметрии, подобно свойству
инвариантности относительно
преобразований Лоренца, считать
существенными свойствами
природы. В пользу этого говорят и
все проведенные до сих пор
эксперименты.

IX. КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ И СТРОЕНИЕ МАТЕРИИ

Понятие “материи” на протяжении истории человеческого мышления неоднократно претерпевало изменения. В различных философских системах его интерпретировали по-разному. Когда мы употребляем слово “материя”, то надо иметь в виду, что различные значения, которые придавались понятию “материя”, пока еще в большей или меньшей степени сохранились в современной науке.

Ранняя греческая философия от Фалеса до атомистов, искавшая единое начало в бесконечном изменении всех вещей, сформулировала понятие космической материи, мировой субстанции, претерпевающей все эти изменения, из которой все единичные вещи возникают и в которую они в конце концов снова превращаются. Эта материя частично идентифицировалась с некоторым определенным веществом — водой, воздухом или огнем, — частично же ей не приписывали никаких других качеств, кроме качеств материала, из которого сделаны все предметы.

Позднее понятие материи играло важную роль в философии Аристотеля — в его идеях о связи формы и материи, формы и вещества. Все, что мы наблюдаем в мире явлений, представляет собой оформленную материю. Материя, следовательно, является реальностью не сама по себе, но представляет собой только возможность, “потенцию”, она существует лишь благодаря форме¹³. В явлениях природы “бытие”, как называет его Аристотель, переходит из возможности в действительность, в актуально свершившееся, благодаря форме. Материя у Аристотеля

представляет собой не какое-либо определенное вещество, как, например, воду или воздух, не является она также и чистым пространством; она оказывается в известной степени неопределенным телесным субстратом, который содержит в себе возможность перейти благодаря форме в актуально свершившееся, в действительность. В качестве типичного примера этого соотношения между материей и формой в философии Аристотеля приводится биологическое развитие, в котором материя преобразуется в живые организмы, а также создание человеком произведения искусства.

Статуя потенциально содержится в мраморе уже до того, как ее высекает скульптор.

Только значительно позднее, начиная с философии Декарта, материю как нечто первичное стали противопоставлять духу. Имеются два дополняющих друг друга аспекта мира, материя и дух, или, как

[90]

выражался Декарт, “*res extensa*” и “*res cogitans*”. Поскольку новые методологические принципы естествознания, особенно механики, исключали сведение телесных

явлений к духовным силам, то материя могла быть рассматриваема только как особая реальность, независимая от человеческого духа и от каких-либо сверхъестественных сил. Материя в этот период представляется уже сформировавшейся материей, и процесс формирования объясняется причинной цепью механических взаимодействий. Материя уже потеряла связь с “растительной душой” аристотелевской философии, и поэтому дуализм между материей и формой в это время уже не играет никакой роли. Это представление о материи внесло, пожалуй,

наибольший вклад в то, что мы ныне понимаем под словом “материя”.

Наконец, в естествознании XIX столетия важную роль играл другой дуализм, а именно дуализм между материей и силой, или, как тогда говорили, между силой и веществом. На материю могут воздействовать силы, и материя может вызывать появление сил. Материя, например, порождает силу тяготения, и эта сила в свою очередь воздействует на нее. Сила и вещество являются, следовательно, двумя ясно различимыми аспектами физического мира. Поскольку силы являются также формирующими

силами, это различие снова приближается к аристотелевскому различению материи и формы. С другой стороны, именно в связи с новейшим развитием современной физики, это различие силы и вещества полностью исчезает, так как всякое силовое поле содержит энергию и в этом отношении представляет собой также часть материи. Каждому силовому полю соответствует определенный вид элементарных частиц. Частицы и силовые поля — только две различные формы проявления одной и той же реальности.

Когда естествознание изучает

проблему материи, ему следует прежде всего исследовать формы материи. Бесконечное многообразие и изменчивость форм материи должны стать непосредственным объектом исследования; усилия должны быть направлены на то, чтобы найти законы природы, единые принципы, которые могли бы служить направляющей нитью в этом бесконечном поле исследований. Поэтому точное естествознание и особенно физика уже давно концентрируют свои интересы на анализе строения материи и сил, которые это строение определяют.

Со времени Галилея основным

методом естествознания является эксперимент. Этот метод сделал возможным перейти от общих исследований природы к специфическим исследованиям, выделить характеристические процессы в природе, на основе которых ее законы можно изучать более непосредственно, чем в общих исследованиях. То есть при изучении строения материи необходимо произвести над ней эксперименты. Необходимо поставить материю в необычные условия, чтобы изучить ее превращения в этих обстоятельствах, надеясь познать тем самым определенные

фундаментальные черты материи, которые сохраняются при всех ее видимых изменениях.

Со времени формирования естествознания нового времени это было одной из важнейших целей химии, в которой довольно рано

[91]

пришли к понятию химического элемента. Субстанция, которая не могла быть разложена или расщеплена далее какими угодно средствами, имевшимися в то время в распоряжении химиков: кипячением, сжиганием,

растворением, смешиванием с другими веществами, была названа “элементом”. Введение этого понятия было первым и исключительно важным шагом в понимании строения материи. Многообразие имеющихся в природе веществ было тем самым сведено по крайней мере к сравнительно малому числу более простых веществ, элементов, и благодаря этому среди различных явлений химии был установлен определенный порядок. Слово “атом” поэтому и было применено к мельчайшей единице материи, которая входит в состав химического элемента, и самая

маленькая частица химического соединения могла быть наглядно представлена в виде маленькой группы различных атомов.

Мельчайшей частицей элемента железа оказался, например, атом железа, и наименьшая частица воды, так называемая молекула воды, оказалась состоящей из атома кислорода и двух атомов водорода.

Следующим и почти столь же важным шагом было открытие сохранения массы в химических процессах. Если, например, сжигается элемент углерода и при этом образуется двуокись углерода, то масса двуокиси углерода равна

сумме масс углерода и кислорода до того, как процесс начался. Это открытие придало понятию материи прежде всего количественный смысл. Независимо от химических свойств материя могла быть измерена ее массой.

В течение следующего периода, главным образом в XIX столетии, было открыто большое число новых химических элементов. В наше время их число перешагнуло за 100. Это число, однако, совершенно ясно говорит о том, что понятие химического элемента еще не привело нас к тому пункту, исходя из которого можно было бы понять

единство материи. Предположение о том, что существует очень много качественно различных видов материи, между которыми нет никаких внутренних связей, не было удовлетворительным.

К началу XIX столетия были уже найдены свидетельства в пользу наличия взаимосвязи между различными химическими элементами. Эти свидетельства заключались в том факте, что атомные веса многих элементов казались целочисленно кратными некоторой наименьшей единице, которая приблизительно соответствует атомному весу

водорода. Подобие химических свойств некоторых элементов также говорило в пользу существования этой взаимосвязи. Но только благодаря применению сил, которые во много раз сильнее, чем те, которые действуют в химических процессах, можно было действительно установить связь между различными элементами и подойти ближе к пониманию единства материи.

Внимание физиков было привлечено к этим силам в связи с открытием радиоактивного распада, осуществленного Беккерелем в 1896 году. В последовавших затем

исследованиях Кюри, Резерфорда и других превращение элементов в радиоактивных процессах было показано со всей очевидностью. Альфа-частицы выпускались в этих

[92]

процессах в виде обломков атомов с энергией, которая приблизительно в миллион раз больше, чем энергия единичной частицы в химическом процессе. Следовательно, эти частицы могли быть теперь использованы в качестве нового инструмента для исследования внутреннего строения атома. Ядерная модель атома, предложенная

Резерфордом в 1911 году, явилась результатом экспериментов по рассеянию альфа-частиц.

Важнейшей чертой этой известной модели было разделение атома на две совершенно различные части — атомное ядро и окружающие атомное ядро электронные оболочки.

Атомное ядро занимает в центре только исключительно малую долю всего пространства, которое занято атомом, — радиус ядра приблизительно в сто тысяч раз меньше радиуса всего атома; но оно все-таки содержит почти всю массу атома. Его положительный электрический заряд, являющийся

целочисленно кратным так
называемому элементарному заряду,
определяет общее число
окружающих ядро электронов, ибо
атом как целое должен быть
электрически нейтрален; он
определяет тем самым и форму
электронных траекторий.

Это различие между атомным ядром
и электронной оболочкой сразу дало
согласованное объяснение тому
факту, что в химии именно
химические элементы являются
последними единицами материи и
что для превращения элементов друг
в друга необходимы очень большие
силы. Химические связи между

соседними атомами объясняются взаимодействием электронных оболочек, и энергии взаимодействия при этом сравнительно малы.

Электрон, ускоренный в разрядной трубке потенциалом всего в несколько вольт, обладает достаточной энергией, чтобы “разрыхлить” электронные оболочки и вызвать испускание света или разрушить химическую связь в молекуле. Но химическое поведение атома, хотя в основе его и лежит поведение электронных оболочек, определяется электрическим зарядом атомного ядра. Если хотят изменить химические свойства,

нужно изменить само атомное ядро, а это требует энергий, которые примерно в миллион раз больше, чем те, которые имеют место при химических процессах.

Но ядерная модель атома, рассматриваемого как система, в которой выполняются законы ньютоновской механики, не может объяснить стабильность атома. Как было установлено в одной из предыдущих глав, только применение к этой модели квантовой теории может объяснить тот факт, что, например, атом углерода, после того как он взаимодействовал с другими атомами или излучил квант света,

по-прежнему остается в конечном счете атомом углерода, с той же самой электронной оболочкой, какую он имел ранее. Эту стабильность можно просто объяснить на основе тех самых черт квантовой теории, которые делают возможным объективное описание атома в пространстве и во времени.

Этим путем было, следовательно, создано первоначальное основание для понимания строения материи. Химические и другие свойства атомов можно было объяснить, применяя к электронным оболочкам математическую схему квантовой теории. Исходя из этого основания,

далее можно было пытаться вести анализ строения материи в двух различных направлениях. Можно было или изучать взаимодействие атомов, их отношение к более крупным единицам, таким, как молекулы или кристаллы или биологические объекты, или же можно было пытаться, исследуя атомное ядро и его составные части, продвинуться до того пункта, в котором стало бы понятным единство материи. Физические исследования форсированно развивались в прошедшие

десятилетия в обоих направлениях. Последующее изложение и будет посвящено выяснению роли квантовой теории в обеих этих областях.

Силы между соседними атомами являются в первую очередь электрическими силами — речь идет о притяжении противоположных зарядов и об отталкивании между одноименными; электроны притягиваются атомным ядром и отталкиваются другими электронами. Но эти силы действуют здесь не по законам ньютоновской механики, а по законам квантовой механики.

Это ведет к двум различным типам связи между атомами. При одном типе связи электрон одного атома переходит к другому атому, — например для того, чтобы заполнить еще не совсем заполненную электронную оболочку. В этом случае оба атома оказываются в конечном счете электрически заряженными и получают название “ионов”; поскольку их заряды в таком случае противоположны, они взаимно притягиваются. Химик говорит в этом случае о “полярной связи”.

При втором типе связи электрон

определенным образом, характерным только для квантовой теории, принадлежит обоим атомам. Если использовать картину электронных орбит, то можно приблизительно сказать, что электрон обращается вокруг обоих атомных ядер и значительную долю времени проводит как в одном, так и в другом атоме. Этот второй тип связи соответствует тому, что химик называет “валентной связью”.

Эти два типа связи, которые могут существовать во всевозможных комбинациях, вызывают в конечном счете образование различных совокупностей атомов и оказываются

в конце концов определяющими все сложные структуры, которые изучаются физикой и химией. Итак, химические соединения образуются благодаря тому, что из атомов различного рода возникают небольшие замкнутые группы, и каждая группа может быть названа молекулой химического соединения. При образовании кристаллов атомы располагаются в виде упорядоченных решеток. Металлы образуются тогда, когда атомы расположены так плотно, что внешние электроны покидают свои оболочки и могут проходить сквозь весь кусок металла. Магнетизм некоторых веществ,

особенно некоторых металлов, возникает вследствие вращательного движения отдельных электронов в этом металле и т. д.

Во всех этих случаях дуализм между материей и силой еще может быть сохранен, так как ядра и электроны можно рассматривать как строительные кирпичи материи, которые удерживаются вместе с электромагнитными силами.

[94]

В то время как физика и химия (там, где они имеют отношение к строению материи) составляют

единую науку, в биологии с ее более сложными структурами положение складывается несколько по-другому. Правда, несмотря на бросающуюся в глаза целостность живых организмов, резкое различие между живой и неживой материей, вероятно, проведено быть не может. Развитие биологии дало нам большое число примеров, из которых можно видеть, что специфически биологические функции могут выполняться особыми большими молекулами или группами, или цепями таких молекул. Эти примеры подчеркивают тенденцию в современной биологии объяснять

биологические процессы как следствие законов физики и химии. Но род стабильности, который мы усматриваем в живых организмах, по своей природе несколько отличен от стабильности атома или кристалла. В биологии речь идет скорее о стабильности процесса или функции, чем о стабильности формы. Несомненно, квантово-механические законы играют в биологических процессах очень важную роль. Например, для понимания больших органических молекул и их разнообразных геометрических конфигураций существенны специфические

квантово-механические силы, которые только несколько неточно могут быть описаны на основе понятия химической валентности. Опыты по биологическим мутациям, вызываемым излучением, показывают также как важность статистического характера квантово-механических законов, так и существование механизмов усиления. Тесная аналогия между процессами в нашей нервной системе и процессами, которые имеют место при функционировании современной электронной счетной машины, снова подчеркивает важность для живого организма

отдельных элементарных процессов. Но все эти примеры все-таки не доказывают, что физика и химия, дополненные учением о развитии, сделают возможным полное описание живых организмов.

Биологические процессы должны трактоваться естествоиспытателями-экспериментаторами с большей осторожностью, чем процессы физики и химии. Как пояснил Бор, вполне может оказаться, что описания живого организма, которое с точки зрения физика может быть названо полным, совсем не существует, потому что данное описание потребовало бы таких

экспериментов, которые должны были бы прийти в слишком сильный конфликт с биологическими функциями организма. Бор описал эту ситуацию следующим образом: в биологии мы имеем дело скорее с реализацией возможностей в той части природы, к которой мы принадлежим, чем с результатами экспериментов, которые мы сами можем произвести. Ситуация дополнительности, в которой действенна эта формулировка, отражается как тенденция в методах современной биологии: с одной стороны, полностью использовать методы и результаты физики и химии

и, с другой стороны, все же постоянно употреблять понятия, которые относятся к тем чертам органической природы, которые не содержатся в физике и химии, как, например, понятие самой жизни.

Пока мы провели, следовательно, анализ строения материи в одном направлении — от атома к более сложным структурам, состоящим из атомов:

[95]

от атомной физики к физике твердого тела, к химии и, наконец, к биологии. Теперь мы должны

повернуть в противоположном направлении и проследить линию исследований, направленную от внешних областей атома к внутренним областям, к атомному ядру и, наконец, к элементарным частицам. Только эта вторая линия приведет нас, быть может, к пониманию единства материи. Здесь не нужно бояться того, что характеристические структуры будут сами разрушены в опытах. Если поставлена задача проверить в опытах принципиальное единство материи, то мы можем подвергнуть материю действию самых сильных из возможных сил, воздействию самых

предельных условий, чтобы увидеть, может ли, в конце концов материя быть превращена в какую-нибудь другую материю.

Первым шагом в этом направлении был экспериментальный анализ атомного ядра. В начальные периоды этих исследований, которые заполняют примерно первые три десятка лет нашего столетия, единственным инструментом для экспериментов над атомным ядром были альфа-частицы, испускаемые радиоактивными веществами. С помощью этих частиц Резерфорду удалось в 1919 году превратить друг в друга атомные ядра легких

элементов. Он смог, например, ядро азота превратить в ядро кислорода, присоединяя к ядру азота альфа-частицу и в то же самое время выбивая из него протон. Это был первый пример процесса на расстояниях порядка радиусов атомных ядер, который напоминал химические процессы, но который вел к искусственному превращению элементов. Следующим решающим успехом было искусственное ускорение протонов в приборах высокого напряжения до энергий, достаточных для ядерных превращений. Для этой цели необходимы разности напряжений

примерно в миллион вольт, и Кокрофту и Уолтону в их первом решающем эксперименте удалось превратить атомные ядра элемента лития в атомные ядра элемента гелия. Это открытие выявило для исследований совершенно новое поле, которое может быть названо ядерной физикой в собственном смысле слова и которое очень быстро привело к качественному пониманию строения атомного ядра.

На самом деле строение атомного ядра оказалось очень простым. Атомное ядро состоит всего из двух различных видов элементарных частиц. Одна из элементарных

частиц — протон, являющаяся одновременно ядром атома водорода. Другая была названа нейтроном, частица, обладающая примерно той же массой, что и протон, и, кроме того, электрически нейтральная. Каждое атомное ядро можно, таким образом, охарактеризовать общим числом протонов и нейтронов, из которых оно состоит. Ядро обычного атома углерода состоит из 6 протонов и 6 нейтронов. Но есть также и другие ядра атомов углерода, которые являются несколько более редкими — они были названы изотопами первых — и которые состоят из 6 протонов и 7 нейтронов

и т. д. Так в конце концов пришли к описанию материи, в котором вместо многих различных химических элементов использовались только три основные единицы, три фундаментальных строительных кирпича — протон, нейтрон и электрон. Вся материя состоит из

[96]

атомов и построена поэтому в конечном счете из этих трех основных строительных кирпичей. Это еще, конечно, не означает единства материи, но несомненно означает важный шаг в направлении этого единства и, что было, пожалуй,

еще важнее, означает существенное упрощение. Правда, впереди был еще длинный путь от знания этих основных строительных кирпичей атомного ядра к полному пониманию его строения. Здесь проблема была несколько отличной от соответствующей проблемы относительно внешней оболочки атома, решенной в середине двадцатых годов. В случае электронной оболочки силы между частицами были известны с большой точностью, но, кроме того, должны были быть найдены динамические законы, и они в конце концов были сформулированы в квантовой

механике. В случае атомного ядра можно было вполне предположить, что динамическими законами являются в основном законы квантовой теории, но здесь были прежде всего неизвестны силы между частицами. Их необходимо было вывести из экспериментальных свойств атомных ядер. Эта проблема не может быть решена полностью еще до сих пор. Силы, вероятно, не имеют такого простого вида, как в случае электростатических сил между электронами во внешних оболочках, и поэтому математически вывести свойства атомных ядер из более сложных сил труднее, и, кроме

того, прогрессу препятствует неточность экспериментов. Но качественные представления о структуре ядра приобрели вполне определенный вид.

В конце концов, в качестве последней важнейшей проблемы остается проблема единства материи. Являются ли эти элементарные частицы — протон, нейтрон и электрон последними, неразложимыми строительными кирпичами материи, иными словами, “атомами” в смысле философии Демокрита, без каких-либо взаимных связей (отвлекаясь от действующих между ними сил), или же они

являются только различными формами одного и того же вида материи? Далее, могут ли они превращаться друг в друга или даже в другие формы материи? Если решать эту проблему экспериментально, то для этого требуются силы и сконцентрированные на атомных частицах энергии, которые должны быть во много раз больше, чем те, которые были использованы для исследования атомного ядра. Так как запасы энергии в атомных ядрах недостаточно велики, чтобы обеспечить нам средства для проведения таких экспериментов, то физики должны или воспользоваться

силами в космосе, то есть в пространстве между звездами, на поверхности звезд, или же они должны довериться умению инженеров.

На самом деле успехи были достигнуты на обоих путях. Прежде всего физики использовали так называемое космическое излучение. Электромагнитные поля на поверхности звезд, простирающиеся на гигантские пространства, при благоприятных условиях могут ускорить заряженные атомные частицы, электроны и атомные ядра, которые, как оказалось, вследствие своей большей инерции имеют

больше возможностей более долгое время оставаться в ускоряющем поле, и когда они в конце концов уходят с поверхности звезды в пустое пространство,

[97]

то иногда успевают пройти потенциальные поля во много миллиардов вольт. Дальнейшее ускорение при благоприятных условиях происходит еще в переменных магнитных полях между звездами. Во всяком случае, оказывается, что атомные ядра долгое время удерживаются переменными магнитными полями в

пространстве Галактики, и в конце концов они, таким образом, заполняют пространство Галактики тем, что называют космическим излучением. Это излучение достигает Земли извне и, следовательно, состоит из всех возможных атомных ядер — водорода, гелия и более тяжелых элементов, — энергии которых изменяются примерно от сотен или тысяч миллионов электрон-вольт до величин, в миллион раз больших. Когда частицы этого высотного излучения вторгаются в верхние слои атмосферы Земли, они сталкиваются здесь с атомами азота или кислорода

атмосферы или атомами какого-либо экспериментального устройства, которое подвергают воздействию космического излучения. Результаты воздействия могут быть затем исследованы.

Другая возможность состоит в конструировании очень больших ускорителей элементарных частиц. В качестве прототипа для них может считаться так называемый циклотрон, который был сконструирован в Калифорнии в начале тридцатых годов Лоуренсом. Основная идея конструкции этих установок состоит в том, что благодаря сильному магнитному

полю заряженные атомные частицы
принуждают многократно вращаться
по кругу, так что они на этом
круговом пути могут снова и снова
ускориться электрическим полем.
Установки, в которых могут быть
достигнуты энергии во много сотен
миллионов электрон-вольт, в
настоящее время действуют во
многих местах земного шара,
главным образом в Великобритании.
Благодаря сотрудничеству 12
европейских стран в Женеве
строится очень большой ускоритель
такого рода, который, как надеются,
будет давать протоны энергией до 25
миллионов электрон-вольт.

Эксперименты, проведенные с помощью космического излучения или очень больших ускорителей, выявили новые интересные черты материи. Кроме трех основных строительных кирпичей материи — электрона, протона и нейтрона, — были открыты новые элементарные частицы, которые порождаются в этих происходящих при высоких энергиях столкновениях и которые по истечении исключительно малых промежутков времени исчезают, превращаясь в другие элементарные частицы. Новые элементарные частицы имеют свойства, подобные свойствам старых, за исключением

своей нестабильности. Даже самые стабильные среди новых элементарных частиц имеют продолжительность жизни только около миллионной доли секунды, а время жизни других — еще в сотни или тысячи раз меньше. В настоящее время известно приблизительно 25 различных видов элементарных частиц. Самая “молодая” из них — отрицательно заряженный протон, который называют антипротоном.

Эти результаты кажутся на первый взгляд опять уводящими в сторону от идей о единстве материи, так как число фундаментальных строительных кирпичей материи, по-

видимому, снова увеличилось до количества,

[98]

сравнимого с количеством различных химических элементов. Но это было бы неточным толкованием действительного положения вещей. Ведь эксперименты одновременно показали, что частицы возникают из других частиц и могут быть превращены в другие частицы, что они образуются просто из кинетической энергии таких частиц и могут снова исчезнуть, так что из них возникнут другие частицы.

Стало быть, другими словами: эксперименты показали полную превращаемость материи. Все элементарные частицы в столкновениях достаточно большой энергии могут превратиться в другие частицы или могут быть просто созданы из кинетической энергии; и они могут превратиться в энергию, например в излучение.

Следовательно, мы имеем здесь фактически окончательное доказательство единства материи. Все элементарные частицы “сделаны” из одной и той же субстанции, из одного и того же материала, который мы теперь

можем назвать энергией или универсальной материей; они — только различные формы, в которых может проявляться материя.

Если сравнить эту ситуацию с понятием материи и формы у Аристотеля, то можно сказать, что материю Аристотеля, которая в основном была “потенцией”, то есть возможностью, следует сравнивать с нашим понятием энергии; когда элементарная частица рождается, энергия выявляет себя благодаря форме как материальная реальность.

Современная физика не может, естественно, удовлетвориться только

качественным описанием фундаментальной структуры материи; она должна попытаться на основе тщательно проведенных экспериментов углубить анализ до математической формулировки законов природы, определяющих формы материи, а именно элементарные частицы и их силы. Четкое разграничение между материей и силой или силой и веществом в этой части физики больше проведено быть не может, так как любая элементарная частица не только сама порождает силы и сама испытывает воздействие сил, но и в то же самое время сама представляет

в данном случае определенное силовое поле. Квантовомеханический дуализм волн и частиц является причиной того, что одна и та же реальность проявляет себя и как материя, и как сила.

Все попытки найти математическое описание для законов природы в мире элементарных частиц до сих пор начинались с квантовой теории волновых полей. Теоретические исследования в этой области были предприняты в начале тридцатых годов. Но уже первые работы в этой области выявили очень серьезные трудности в области, где квантовую теорию пытались объединить со

специальной теорией относительности. С первого взгляда кажется, будто две теории, квантовая и теория относительности, относятся к столь различным сторонам природы, что практически они никак не могут влиять друг на друга и что поэтому требования обеих теорий должны быть легко выполнимы в одном и том же формализме. Но более точное исследование показало, что обе эти теории вступают в определенном пункте в конфликт, в результате чего и проистекают все дальнейшие трудности.

Специальная теория относительности раскрыла структуру пространства и времени, которая оказалась несколько отличной от структуры, приписывавшейся им со времени создания ньютоновской механики. Наиболее характерная черта этой вновь открытой структуры — существование максимальной скорости, которая не может быть превзойдена любым движущимся телом или распространяющимся сигналом, то есть скорости света. Как следствие этого два события, имеющие место в двух весьма удаленных друг от друга точках, не могут иметь никакой

непосредственной причинной связи, если они происходят в такие моменты времени, когда световой сигнал, выходящий в момент первого события из этой точки, достигает другой только после момента свершения другого события и наоборот. В этом случае оба события можно назвать одновременными. Поскольку никакое воздействие любого рода не может передаться от одного процесса в один момент времени другому процессу в другой момент времени, оба процесса не могут быть связаны никаким физическим воздействием.

По этой причине действие на

большие расстояния так, как оно выступает в случае сил тяготения в ньютоновской механике, оказалось несовместимым со специальной теорией относительности. Новая теория должна была заменить такое действие “близкодействием”, то есть передачей силы из одной точки только непосредственно соседней точке. Естественным математическим выражением взаимодействий этого рода оказались дифференциальные уравнения для волн или полей, инвариантные относительно преобразования Лоренца. Такие дифференциальные уравнения исключают какое-либо

прямое воздействие одновременных событий друг на друга.

Поэтому структура пространства и времени, выражаемая специальной теорией относительности, предельно резко отграничивает область одновременности, в которой не может быть передано никакое воздействие, от других областей, в которых непосредственное воздействие одного процесса на другой может иметь место.

С другой стороны, соотношение неопределенностей квантовой теории устанавливает жесткую границу точности, с которой могут

быть одновременно измерены координаты и импульсы или моменты времени и энергии. Так как предельно резкая граница означает бесконечную точность фиксации положения в пространстве и во времени, то соответствующие импульсы и энергии должны быть полностью неопределенными, то есть с подавляющей вероятностью должны выступить на первый план процессы даже со сколь угодно большими импульсами и энергиями. Поэтому всякая теория, которая одновременно выполняет требования специальной теории относительности и квантовой

теории, ведет, оказывается, к математическим противоречиям, а именно к расходимостям в области очень больших энергий и импульсов. Эти выводы не обязательно могут носить необходимый характер, так как всякий формализм рассмотренного здесь рода является ведь очень сложным, и возможно еще, что будут найдены математические средства, которые помогут устранить в этом пункте противоречие между теорией относительности и квантовой теорией. Но до сих пор все-таки все

[100]

математические схемы, которые были исследованы, приводили в самом деле к таким расхожимостям, то есть к математическим противоречиям, или же они оказывались недостаточными, чтобы удовлетворить всем требованиям обеих теорий. Кроме того, было очевидно, что трудности в самом деле проистекают из только что рассмотренного пункта.

Тот пункт, в котором сходящиеся математические схемы не удовлетворяют требованиям теории относительности или квантовой теории, оказался очень интересным

уже сам по себе. Одна из таких схем вела, например, когда ее пытались интерпретировать с помощью реальных процессов в пространстве и времени, к некоторого рода обращению времени; она описывала процессы, в которых в определенной точке внезапно происходило рождение нескольких элементарных частиц, а энергия для этого процесса поступала только позднее благодаря каким-то другим процессам столкновения между элементарными частицами. Физики же на основании своих экспериментов убеждены, что процессы такого рода в природе не имеют места, по крайней мере тогда,

когда оба процесса отделены друг от друга некоторым измеримым расстоянием в пространстве и во времени.

В другой теоретической схеме попытка устранить расхожимости формализма делалась на основе математического процесса, который был назван “перенормировкой”. Этот процесс заключается в том, что бесконечности формализма можно было передвинуть в такое место, где они не могут помешать получению строго определяемых соотношений между наблюдаемыми величинами. Действительно, эта схема уже привела до определенной степени к

решающим успехам в квантовой электродинамике, так как она дает способ расчета некоторых очень интересных особенностей в спектре водорода, которые до этого были необъяснимы. Более точный анализ этой математической схемы сделал, однако, правдоподобным вывод о том, что те величины, которые в обычной квантовой теории должны быть истолкованы как вероятности, могут в данном случае при некоторых обстоятельствах, после того как процесс перенормировки проведен, стать отрицательными. Это исключало бы, разумеется, непротиворечивое истолкование

формализма для описания материи, так как отрицательная вероятность — бессмысленное понятие.

Тем самым мы уже пришли к проблемам, которые ныне стоят в центре дискуссий в современной физике. Решение будет получено когда-нибудь благодаря постоянно обогащающемуся экспериментальному материалу, который добывается во все более и более точных измерениях элементарных частиц, их порождения и уничтожения, сил, действующих между ними. Если искать возможные решения этих трудностей, то, может быть, следует

вспомнить о том, что такие процессы с видимым обращением времени, обсужденные выше, нельзя исключить на основании экспериментальных данных в том случае, если они имеют место только внутри совсем малых пространственно-временных областей, внутри которых с нашим теперешним экспериментальным оборудованием детально проследить процессы еще невозможно. Разумеется, при теперешнем

[101]

состоянии нашего знания мы едва ли готовы признать возможность таких

процессов с обращением времени, если из этого и следует возможность на какой-то более поздней стадии развития физики наблюдать подобного рода процессы таким же образом, каким наблюдают обычные атомные процессы. Но здесь сравнение анализа квантовой теории и анализа теории относительности позволяет представить проблему в новом свете.

Теория относительности связана с универсальной постоянной природы — со скоростью света. Эта постоянная имеет решающее значение для установления связи между пространством и временем и

поэтому должна сама по себе
содержаться во всяком законе
природы, удовлетворяющем
требованиям инвариантности
относительно преобразований
Лоренца. Наш обычный язык и
понятия классической физики могут
быть применены только к явлениям,
для которых скорость света может
рассматриваться практически
бесконечно большой. Если мы в
наших экспериментах в какой-либо
форме приближаемся к скорости
света, то мы должны быть
подготовлены к появлению
результатов, которые более не могут
быть объяснены с помощью этих

обыкновенных понятий.

Квантовая теория связана с другой универсальной постоянной природы — с планковским квантом действия. Объективное описание процессов в пространстве и во времени оказывается возможным только тогда, когда мы имеем дело с предметами и процессами сравнительно больших масштабов, а именно тогда постоянную Планка можно рассматривать как практически бесконечно малую. Когда мы в наших экспериментах приближаемся к области, в которой планковский квант действия становится существенным, мы

приходим ко всем тем трудностям с применением обычных понятий, которые были обсуждены в предыдущих главах этой книги.

Но должна быть еще третья универсальная постоянная природы. Это следует просто, как говорят физики, из соображений размерности. Универсальные постоянные определяют величины масштабов в природе, они дают нам характеристические величины, к которым можно свести все другие величины в природе. Для полного набора таких единиц необходимы, однако, три основные единицы. Проще всего заключить об этом

можно из обычных соглашений о единицах, как, например, из использования физиками системы CQS (сантиметр — грамм — секунда). Единицы длины, единицы времени и единицы массы вместе достаточно, чтобы образовать полную систему. Необходимы по меньшей мере три основные единицы. Их можно было бы заменить также единицами длины, скорости и массы или единицами длины, скорости и энергии и т. д. Но три основные единицы необходимы во всяком случае. Скорость света и планковский квант действия дают нам, однако, только две из этих

величин. Должна быть еще третья, и только теория, содержащая такую третью единицу, возможно, способна вести к определению масс и других свойств элементарных частиц. Если исходить из наших современных познаний об

[102]

элементарных частицах, то, пожалуй, самым простым и самым приемлемым путем введения третьей универсальной постоянной является предположение о том, что существует универсальная длина порядка величины 10^{-13} см, длина, стало быть, сравнимая примерно с

радиусами легких атомных ядер. Если из. этих трех единиц образовать выражение, имеющее размерность массы, то эта масса имеет порядок величины массы обычных элементарных частиц.

Если предположить, что законы природы действительно содержат такую третью универсальную постоянную размерности длины порядка величины 10^{-13} см, то тогда вполне возможно, что наши обычные представления могут быть применимы только к таким областям пространства и времени, которые велики по сравнению с этой

универсальной постоянной длины. По мере приближения в своих экспериментах к областям пространства и времени, малым по сравнению с радиусами атомных ядер, мы должны быть готовы к тому, что будут наблюдаться процессы качественно нового характера. Явление обращения времени, о котором говорилось выше и пока что только как о возможности, выводимой из теоретических соображений, могло бы поэтому принадлежать этим мельчайшим пространственно-временным областям. Если это так, то, вероятно, его было бы нельзя наблюдать таким

образом, что соответствующий процесс мог бы быть описан в классических понятиях. И все же в той мере, в какой такие процессы могут быть описаны классическими понятиями, они должны обнаруживать также и классический порядок следования во времени. Но пока о процессах в самых малых пространственно-временных областях — или (что согласно соотношению неопределенностей приблизительно соответствует этому высказыванию) при самых больших передаваемых энергиях и импульсах — известно слишком мало.

В попытках достичь на основе

экспериментов над элементарными частицами большего знания о законах природы, определяющих строение материи и тем самым структуру элементарных частиц, особенно важную роль играют определенные свойства симметрии. Мы напомним о том, что в философии Платона самые маленькие частицы материи были абсолютно симметричными образованиями, а именно правильными телами — кубом, октаэдром, икосаэдром, тетраэдром. В современной физике, правда, эти специальные группы симметрии, получающиеся из группы вращений в

трехмерном пространстве, не стоят больше в центре внимания. То, что имеет место в естествознании нового времени, ни в коем случае не является пространственной формой, а представляет собой закон, стало быть, в определенной степени пространственно-временную форму, и поэтому применяемые в нашей физике симметрии должны всегда относиться к пространству и времени совместно. Но определенные типы симметрии, кажется, в действительности играют в теории элементарных частиц наиболее важную роль.

Мы познаем их эмпирически

благодаря так называемым законам сохранения и благодаря системе квантовых чисел, с помощью которых можно упорядочить соответственно опыту события в мире эле-

[103]

ментарных частиц. Математически мы можем их выразить с помощью требования, чтобы основной закон природы для материи был инвариантным относительно определенных групп преобразований. Эти группы преобразований являются наиболее простым математическим

выражением свойств симметрии. Они выступают в современной физике вместо тел Платона. Наиболее важные здесь кратко перечислены.

Группа так называемых преобразований Лоренца характеризует вскрытую специальной теорией относительности структуру пространства и времени.

Группа, исследованная Паули и Гюрши, соответствует по своей структуре группе трехмерных пространственных вращений — она ей изоморфна, как говорят

математики, — и проявляет себя в появлении квантового числа, которое эмпирически было открыто у элементарных частиц уже двадцать пять лет назад и получило название “изоспин”.

Две следующие группы, ведущие себя формально как группы вращений вокруг жесткой оси, приводят к законам сохранения для заряда, для числа барионов и для числа лептонов.

Наконец, законы природы должны быть инвариантны еще относительно определенных операций отражения, которые здесь нет нужды

перечислять подробно. По этому вопросу особенно важными и плодотворными оказались исследования Ли и Янга, согласно идее которых величина, называемая четностью и для которой ранее предполагался справедливый закон сохранения, в действительности не сохраняется.

Все известные до сих пор свойства симметрии удастся выразить с помощью простого уравнения. Причем под этим понимается, что это уравнение инвариантно относительно всех названных групп преобразований, и поэтому можно думать, что это уравнение уже

правильно отображает законы природы для материи. Но решения этого вопроса еще нет, оно будет получено только со временем с помощью более точного математического анализа этого уравнения и с помощью сравнения с экспериментальным материалом, собираемым во все больших размерах.

Но и отвлекаясь от этой возможности, можно надеяться, что благодаря согласованию экспериментов в области элементарных частиц наивысших энергий с математическим анализом их результатов когда-нибудь удастся

прийти к полному пониманию единства материи. Выражение “полное понимание” означало бы, что формы материи — приблизительно в том смысле, в каком употреблял этот термин в своей философии Аристотель, — оказались бы выводами, то есть решениями замкнутой математической схемы, отображающей законы природы для материи.

[104]

Х. ЯЗЫК И РЕАЛЬНОСТЬ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ

В истории науки поразительные открытия и новые идеи всегда приводили к научным дискуссиям; эти дискуссии вызывают появление полемических публикаций, и такая критика часто совершенно необходима для развития последних. Но эти споры почти никогда ранее не достигали той степени резкости, которую они приобрели после создания теории относительности, а также — в меньшей степени — квантовой теории. В обоих случаях научные проблемы в конечном счете были связаны даже со спорными вопросами политики, и некоторые физики пытались содействовать

победе своих взглядов, прибегая к помощи политических методов. Эту бурную реакцию на новейшее развитие современной физики можно понять, только признав, что это развитие привело в движение сами основы физики и, возможно, естествознания вообще и что это движение вызвало ощущение, будто вся почва, на которую опирается естествознание, уходит из-под наших ног. Но вместе с тем это означает, пожалуй, и то, что еще не найден правильный язык, на котором можно говорить о новом положении дел, и что неточные и отчасти неправильные утверждения,

высказанные в ряде случаев в пылу воодушевления новыми открытиями, вызвали появление всякого рода недоразумений. Здесь речь идет в самом деле о трудноразрешимой, принципиальной проблеме.

Усовершенствованная экспериментальная техника нашего времени ввела в поле зрения естествознания совершенно новые стороны явлений природы, стороны, которые не могут быть описаны с помощью понятий повседневной жизни или только с помощью понятий предшествующей физики. Но в таком случае, каким языком они должны описываться?

Первичным языком, который вырабатывают в процессе научного уяснения фактов, является в теоретической физике обычно язык математики, а именно — математическая схема, позволяющая физикам предсказывать результаты будущих экспериментов. Физик может довольствоваться тем, что он обладает математической схемой и знает, как можно ее применять для истолкования своих опытов. Но ведь он должен говорить о своих результатах также и не физикам, которые не будут удовлетворены до тех пор, пока им не будет дано объяснение и на обычном языке, на

языке, который может быть понят
каждым. Но и для физика
возможность описания на обычном

[105]

языке является критерием того, какая
степень понимания достигнута в
соответствующей области. В каком
объеме возможно вообще такое
описание? Можно ли, например,
говорить о самом атоме? Это
настолько же языковая, насколько и
физическая проблема, и поэтому
прежде всего необходимо сделать
несколько замечаний о языке вообще
и о научном языке в особенности.

Язык был создан человеческой расой в доисторическое время как средство для передачи сообщений и как основа для мышления. Мы мало знаем о различных ступенях его формирования. Но, во всяком случае, ныне язык содержит большое количество понятий, которые могут рассматриваться как целесообразный инструмент для более или менее однозначной передачи сообщений о событиях повседневной жизни. Эти понятия были выработаны постепенно, в процессе использования языка, без критического анализа. При этом предполагается, что если некоторое

слово употребляется достаточно часто, следовательно, мы более или менее точно знаем, что оно означает. Хорошо известен факт, что слова определены не столь четко, как это может показаться на первый взгляд, и что они обладают только некоторой ограниченной областью применения: например, можно говорить о куске дерева или о куске железа, но нельзя говорить о куске воды. Слово “кусок” не допускает его применения к жидким телам. Приведем другой пример. Бор при объяснении ограниченной применимости понятий обычно с большой охотой рассказывает следующую историю.

Маленький мальчик приходит в магазин с пфенингом в руке и спрашивает: “Могу я у вас купить за один пфенинг конфетную смесь?” Продавец берет две конфеты из своих ящиков, дает их мальчику и говорит: “Смесь ты можешь сделать из них сам”. Несколько более серьезный пример проблематичного соотношения слов и понятий представляет собой факт применения слов “красный” и “зеленый” дальтониками, хотя здесь, очевидно, границы применения этих слов дальтониками должны проходить совсем иначе, чем у других людей.

Эта принципиальная непосредственность смысла слов была осознана, разумеется, очень давно и вызвала желание давать определения, т. е., как гласит определение слова “определение”, устанавливать границы, указывающие, где это слово может применяться, а где нет. Но определения могут быть даны, естественно, только с помощью других понятий, и в конце концов мы должны будем все-таки полагаться на некоторые понятия, которые принимаются так, как они есть, без анализа и определений.

В греческой философии проблема выражения понятий в языке была важнейшим предметом исследований со времен Сократа, жизнь которого представляла собой, если следовать ее художественному изображению в диалогах Платона, постоянное обсуждение содержания языковых понятий и границ наших средств выражения. Чтобы создать прочное основание для научного мышления, Аристотель в своих логических работах предпринял попытку проанализировать языковые формы и исследовать формальную структуру процесса вывода

и заключений независимо от их содержания. На этом пути он достиг такой степени абстракции и точности, которая до того была не известна греческой философии, и тем самым в наивысшей степени содействовал выяснению и установлению определенного порядка в нашем способе мышления. Он фактически создал основы научного языка.

С другой стороны, логический анализ приносит с собой и опасность слишком большого

упрощения. В логике внимание направлено на специальные языковые структуры, на однозначное связывание посылок и заключений, на простые схемы рассуждений. Всеми другими языковыми структурами в логике пренебрегают. Эти структуры могут получаться, например, благодаря ассоциациям между определенными промежуточными значениями слов; так, например, второстепенное значение слова, почти не оставляющее следа в нашем сознании, может все же существенно повлиять на содержание предложения, когда это слово

произнесено. Тот факт, что любое слово может вызвать в нашем мышлении многие, только наполовину осознаваемые движения, может быть использован для того, чтобы выразить с помощью языка определенные стороны действительности более отчетливо, чем это было бы возможно с помощью логической схемы. Поэтому поэты часто выступали против такого преувеличенного подчеркивания логических схем в языке и мышлении, могущего привести к тому, что язык станет не пригоден для той цели, для которой он был первоначально создан. Здесь

можно, например, напомнить
известные слова, с которыми
Мефистофель в “Фаусте” Гете
обращается к ученику:

Цените время: дни уходят
невозвратно!

Но наш порядок даст привычку
вам

Распределять занятия аккуратно.

А потому, мой друг, на первый
раз,

По мне, полезно было бы для вас
Курс логики пройти в ее границах
Начнут сейчас дрессировать ваш
ум,

Держа его в ежовых рукавицах,
Чтоб тихо он без лишних дум

И без пустого нетерпенья
Всползал по лестнице мышленья,
Чтоб вкривь и вкось, по всем
путям,
Он не метался там и сям.
Затем внушат вам, ради той же
цели,
Что в нашей жизни всюду, даже в
том,
Что прежде сразу делать вы
умели, —
Как, например, питье, еда, —
Нужна команда “раз, два, три”
всегда.
Так фабрикуют мысли. С этим
можно
Сравнить хоть ткацкий,

например, станок.

В нем управление нитью сложно:
То вниз, то вверх снует челнок,
Незримо нити в ткань сольются;
Один толчок — сто петель
вьются.

[107]

Подобно этому, дружок,
И вас философ поучает!
“Вот это — так и это — так,
А потому и это — так,
И если первая причина исчезает,
То и второму не бывать никак”.
Ученики пред ним благоговеют,
Но ткань соткать из нитей не
сумеют
Иль вот: живой предмет желая

изучить,
Чтоб ясное о нем познание
получить, —
Ученый прежде душу изгоняет
Затем предмет на части
расчленяет
И видит их, да жаль: духовная их
связь
Тем временем исчезла, унеслась!
14

Это место содержит достойное
восхищения описание структуры
языка и обоснованную критику
узости обычных логических схем.

С другой стороны, наука ведь должна
основываться на языке как на

единственном средстве передачи сообщений, и поэтому там, где проблема однозначности имеет большую важность, логические схемы должны играть свою роль. Специфическая трудность в этом пункте может быть, пожалуй, описана следующим образом. В естествознании мы пытаемся единичное вывести из общего: единичное явление должно быть понято как следствие простых общих законов. Эти общие законы, когда они формулируются в языке, могут содержать только некоторые немногие понятия, ибо, в противном случае, законы были бы не простыми

и не всеобщими. Из этих понятий должно быть выведено далее бесконечное многообразие возможных явлений, и при этом не только качественно и приближенно, но и с огромной степенью точности в отношении всякой детали. Становится очевидным, что понятия обыденного языка, определенные, как правило, столь неточно и нечетко, никогда не позволили бы сделать такой вывод. Если из заданных посылок следует цепь заключений, то общее число возможных членов в цепи зависит от точности посылок. Поэтому в естествознании основные понятия

общих законов должны быть определены с предельной степенью точности, а это возможно только с помощью математической абстракции.

Подобное же положение может иметь место и в других науках — в них также могут стать необходимыми точные определения, например в юриспруденции. Но здесь общее число членов в цепи заключений никогда не бывает очень большим; поэтому здесь нет необходимости в совершенной точности, и в большинстве случаев мало-мальски точные определения оказываются исчерпывающе сформулированными

с помощью понятий обыденного языка.

В теоретической физике мы пытаемся понять группы явлений, вводя математические символы, которые могут быть поставлены в соответствие некоторым фактам, а именно результатам измерений. Для символов мы находим имена, которые делают ясной их связь с измерением. Этим способом символы связываются, следовательно, с обыденным языком. Но затем символы связываются между собой

с помощью строгой системы определений и аксиом, и в конце концов законы природы приобретают вид уравнений между символами. Бесконечное многообразие решений этих уравнений соответствует тогда бесконечному многообразию единичных явлений, возможных в данной области природы. Таким образом, математическая схема отображает рассматриваемую группу явлений в той мере, в которой соблюдаются соотношения между символами и измерениями. Эти соотношения позволяют также затем выразить сами законы природы в понятиях обыденного языка, так как

наши эксперименты, состоящие из действий и измерений, всегда могут быть описаны этим языком.

Конечно, в процессе расширения наших научных знаний увеличивается и сфера применимости языка. Вводятся новые понятия, а старые начинают употребляться в новых областях в ином смысле, чем при их употреблении в обычном языке. Такие слова, как энергия, электричество, энтропия, представляют собой хорошо известные примеры. Так мы развиваем научный язык, который можно рассматривать как

естественное расширение обычного языка, пригодное для заново создающихся научных областей.

В прошлом столетии в физику был введен ряд новых понятий, и в некоторых случаях понадобилось значительное время, прежде чем физики привыкли к употреблению этих новых понятий. Понятие “электромагнитного поля”, например, в известном смысле содержалось уже в работах Фарадея, и то, что позднее стало фундаментом теории Максвелла, не легко и не сразу было принято физиками, которые ранее свое внимание направляли прежде всего на

изучение механического движения материи. Введение этого понятия было связано с изменением основных научных представлений, а такие изменения никогда не могут протекать легко.

Несмотря на это, все понятия, введенные в физику до конца прошлого столетия, образовали замкнутую систему, которая может быть применена к широкому кругу явлений; эта система вместе с более ранними понятиями образовала язык, который может с успехом применяться в исследованиях не только ученых, но и техников, и инженеров. К основным

представлениям этого языка принадлежат предположения о том, что последовательность событий во времени полностью независима от их расположения в пространстве, что в реальном пространстве справедлива евклидова геометрия и что процессы в пространстве и во времени происходят независимо от того, наблюдаются они или нет. Конечно, никто не оспаривал, что всякое наблюдение оказывает определенное воздействие на явление, которое должно наблюдаться, но в общем предполагалось, что благодаря достаточно осторожному

проведению экспериментов это влияние можно сделать в конце концов сколь угодно малым. Это казалось действительно необходимым условием осуществления идеала объективности, считавшегося основой всего естествознания.

В это до некоторой степени спокойное состояние физики квантовая теория и специальная теория относительности внесли внезапное, сначала медленное, а затем постепенно убыстряющееся изменение основ

естествознания. Первые бурные дискуссии вспыхнули о проблемах пространства и времени, поставленных теорией относительности. Как следует говорить о новом положении дел? Следует ли рассматривать лоренцово сокращение движущихся тел как действительное или только как кажущееся? Следует ли говорить, что структура пространства и времени действительно отлична от той, которую предполагали ранее, или же следует только сказать, что экспериментальные результаты при их теоретическом истолковании математически надо связывать таким

образом, чтобы это соответствовало этой новой структуре, в то время как пространство и время как всеобщие формы созерцания, в которых мы воспринимаем мир, остаются тем, чем они всегда были?

Действительной проблемой, стоявшей за многими этими спорными вопросами, являлся тот факт, что не существовало никакого языка, на котором можно было бы непротиворечиво говорить о новой Ситуации. Обычный язык основывался на старых понятиях о пространстве и времени, и только этот язык представлял собой средство однозначной передачи

сообщений о расположении приборов и результатах измерений. Но одновременно эксперименты показывали, что старые понятия могут быть применены не повсюду.

Естественным исходным пунктом при истолковании теории относительности явилось поэтому то обстоятельство, что в предельном случае очень малых скоростей (скоростей, малых в сравнении со скоростью света) новая теория оказалась практически тождественной с предшествующей. Поэтому эта теория сама показывала, как следовало интерпретировать математические символы, как их

поставить в связь с экспериментом и с понятиями обычного языка. Фактически только благодаря этой связи преобразования Лоренца в данном случае были найдены уже довольно рано. В этой области, стало быть, не было никакой неясности относительно значения слов и символов. Фактически этих связей было уже достаточно, чтобы применять теорию ко всей области эксперимента, имеющей отношение к проблеме относительности. Поэтому спорные вопросы о “реальном” или “кажущемся” лоренцовом сокращении или о смысле слова “одновременно” и т. д.,

собственно говоря, никакого отношения не имеют к фактам, а касаются только языка.

С другой стороны, относительно языка с течением времени было признано, что, возможно, не следует слишком строго настаивать на определенных принципах. Всегда было трудно найти убедительные для всех критерии того, какие понятия могут применяться в языке и как их следует применять. Возможно, правильнее и проще подождать дальнейшего развития языка, который через некоторое время благодаря этому развитию будет соответствовать новому положению

дел. В специальной теории относительности такое соответствие фактически уже в значительной степени выработалось в последние пятьдесят лет. Например, различие между “реальным” и “кажущимся” лоренцовым сокращением просто исчезло. Слово “одновременный” в общем употребляется так, как это соответствует опре-

[110]

делению, данному в свое время Эйнштейном, в то время как для несколько более сложного понятия, обсуждаемого в одной из предыдущих глав этой книги, вошло в

употребление выражение
“пространственно подобный
интервал” и т. д.

В случае общей теории
относительности мысль о
неевклидовом характере геометрии
реального пространства была самым
резким образом оспорена
некоторыми философами, которые в
данном случае утверждали, что уже
сама схема выполнения наших
экспериментов предполагает
справедливость евклидовой
геометрии.

Когда, например, механик пытается
изготовить совершенно плоские

поверхности, он может это сделать следующим образом. Он изготавливает сначала три поверхности примерно одинаковой величины, являющиеся более или менее плоскими. Затем он прикладывает каждую пару из этих плоскостей друг к другу в различных относительных положениях.

Степень, в которой возможно теперь взаимное прилегание при всевозможных положениях поверхностей, должно считать мерой точности, с которой поверхности следует рассматривать как плоские. Механик будет доволен тремя плоскостями только тогда, когда прилегание каждой пары из них друг

к другу имеет место одновременно во всех точках. Когда это достигнуто, можно доказать математически, что на всех трех поверхностях должна быть справедлива евклидова геометрия. Таким образом (так аргументировал, например, Г. Динглер), уже наши собственные действия направлены на то, чтобы выполнялась евклидова геометрия.

С точки зрения общей теории относительности здесь можно, естественно, ответить, что изложенная аргументация доказывает только справедливость евклидовой геометрии на малых расстояниях, а именно на

расстояниях порядка размеров наших экспериментальных установок.

Точность, с которой здесь справедлива евклидова геометрия, фактически столь велика, что описанный выше процесс изготовления плоских поверхностей может быть осуществлен всегда.

Исключительно малые отклонения от евклидовой геометрии, еще имеющие место в этой области, не будут замечены, так как поверхности изготавлиются из вещества, которое не является абсолютно твердым, а способно претерпевать небольшие деформации, а также потому, что понятие “прилегание” не может быть

определено с совершенной точностью. Для поверхностей космического порядка описанный процесс не может быть применен. Но это уже проблема не экспериментальной физики.

Снова естественным исходным пунктом физического истолкования математических схем общей теории относительности является тот факт, что геометрия на малых расстояниях оказывается приблизительно евклидовой. В этой области общая теория относительности сближается с классической теорией. Поэтому здесь существует однозначная связь между математическими символами,

измерениями и понятиями обычного языка. Напротив, в достаточно больших областях физически справедливой может оказаться неевклидова геометрия. Фактически уже задолго до того, как была создана общая

[111]

теория относительности, возможность неевклидовой геометрии реального пространства обсуждалась математиками, особенно Гауссом в Геттингене. Когда Гаусс производил очень точные измерительно-геодезические работы, которые велись на базе треугольника,

образованного тремя горами: Брокеном в Гарце, Инзельбергом в Тюрингии и Хохен-Хагеном близ Геттингена, он должен был также очень тщательно проверить дополнительно, составляет ли сумма трех углов треугольника действительно 180° ; он считал вполне допустимым обнаружение отклонения, которое в таком случае доказало бы отступление от евклидовой геометрии. Но на самом деле он не смог обнаружить в пределах точности своих измерений никаких отклонений.

В случае общей теории относительности язык, на котором

мы формулируем общие законы, вполне соответствует научному языку математика, а для описания самих экспериментов применяют, как всегда, обычные понятия, так как на малых расстояниях евклидова геометрия справедлива с достаточной точностью.

Но самая трудная проблема в отношении применения языка возникает в квантовой теории. Здесь нет никаких простых направляющих принципов, которые бы нам позволили связать математические символы с понятиями обычного языка. Единственное, что прежде всего знают, это тот факт, что наши

обычные понятия не могут быть применены к строению атома. Снова можно было бы считать естественным исходным пунктом физического истолкования формализма тот факт, что математическая схема квантовой механики для расстояний, больших по сравнению с протяженностью атома, приближается к математической схеме классической механики. Но даже это утверждение может быть высказано с некоторыми оговорками. И для больших расстояний существует много решений квантовомеханических уравнений, для которых найти

аналогичные решения в пределах классической физики невозможно. В таких квантовомеханических решениях проявляет себя обсужденная выше интерференция вероятностей, вовсе не существующая в классической физике. Поэтому даже в предельном случае очень больших размеров связь математических символов, с одной стороны, с измерениями и обычными понятиями — с другой, нисколько не тривиальна. Чтобы достигнуть однозначности такой связи, необходимо привлечь к рассмотрению еще вторую сторону проблемы. Необходимо обратить

внимание на то, что система, которую следует рассматривать согласно методам квантовой механики, на самом деле является частью значительно большей системы, в конечном счете — всего мира. Она находится во взаимодействии с этой большой системой, и мы должны добавить еще, что микроскопические свойства большей системы, по крайней мере в значительной степени, неизвестны. Эта формулировка, несомненно, правильно описывает положение дел, ибо система вовсе не могла бы быть предметом измерений и теоретических исследований, если

бы она вообще не принадлежала к миру явлений, если бы ее не связывало никакое взаимодействие с большей системой, частью которой является наблюдатель.

Взаимодействие

[112]

с этой большей системой, с ее в значительной степени неизвестными, микроскопическими особенностями вводит тогда в описание — а именно и в квантовомеханическое, и в классическое описание — новый статистический элемент, который должен быть принят во внимание

при рассмотрении системы. В предельном случае больших размеров этот статистический элемент в такой степени уничтожает результаты интерференции вероятностей, что теперь квантовомеханическая схема действительно сближается со схемой классической физики. В этом пункте можно поэтому установить однозначную связь между математическими символами квантовой теории и понятиями обычного языка, и этого соответствия оказывается фактически достаточно также для истолкования экспериментов. То, что остается, —

это проблемы, снова затрагивающие скорее область языка, чем область фактов, так как понятие “факт” предполагает, что феномен может быть описан на обычном языке.

Однако проблемы языка здесь приобретают значительно более серьезный характер. Мы хотим каким-то образом говорить о строении атома, а не только о наблюдаемых явлениях, к которым, например, относятся черные точки на фотографической пластинке или водяные капли в камере Вильсона. Но на обычном языке мы не можем этого сделать.

Анализ может быть продолжен теперь в двух совершенно противоположных направлениях. Можно спросить, какой способ выражения относительно атомов фактически укоренился среди физиков за 30 лет со времени формулирования квантовой механики, или можно описать попытки формулировать точный научный язык, соответствующий математической схеме квантовой теории.

В качестве ответа на первый вопрос можно подчеркнуть, что понятие дополнительности, введенное Бором

при истолковании квантовой теории, сделало для физиков более желательным использовать двузначный язык вместо однозначного и, следовательно, применять классические понятия несколько неточным образом, соответствующим соотношению неопределенностей, попеременно употребляя различные классические понятия. Если бы эти понятия использовались одновременно, то это привело бы к противоречиям. Поэтому, говоря о траекториях электронов, о волнах материи и плотности заряда, об энергии и импульсе и т. д., всегда следует

сознавать тот факт, что эти понятия обладают только очень ограниченной областью применимости. Как только это неопределенное и бессистемное применение языка приводит к трудностям, физик должен вернуться к математической схеме и использовать ее однозначную связь с экспериментальными фактами.

Это применение языка во многих отношениях довольно удовлетворительно, напоминая подобное же употребление языка в повседневной жизни или в поэтическом творчестве. Мы констатируем, что ситуация дополнительности никоим образом

не ограничена миром атома. Может быть, мы сталкиваемся с ней, когда размышляем

[113]

о решении и о мотивах нашего решения или когда выбираем, наслаждаться ли музыкой или анализировать ее структуру. С другой стороны, если классические понятия применяются подобным образом, то они всегда сохраняют некоторую неопределенность; они приобретают в отношении реальности тот же самый статистический смысл, какой примерно получают понятия классического учения о теплоте при

их статистической интерпретации. Поэтому здесь, возможно, полезно краткое обсуждение статистических понятий термодинамики.

Понятие “температура” выступает в классической теории теплоты как понятие, описывающее объективные черты реальности, объективное свойство материи. В повседневной жизни довольно легко определить с помощью термометра, что мы понимаем под утверждением, что некоторое тело имеет определенную температуру. Но если мы хотим определить, что могло бы означать понятие “температура атома”, то, даже если исходить при этом из

понятий классической физики, мы все равно оказываемся в очень затруднительном положении. В самом деле, мы не можем понятие “температура атома” сопоставить с каким-нибудь разумно определенным свойством атома, а должны в известной степени связать его с недостаточностью наших знаний об атоме. Значение температуры может быть поставлено в связь с определенными значениями статистических ожиданий некоторых свойств атома, но есть основание сомневаться в том, следует ли называть такую величину статистического ожидания

объективной. Понятие “температура атома” определенно ненамного лучше, чем понятие “смесь” в истории о маленьком мальчике, покупавшем конфетную смесь.

Подобным же образом в квантовой теории все классические понятия, когда их применяют к атому, определены столь же расплывчато, как и понятие “температура атома”, — они связаны со статистическими ожиданиями, только в редких случаях статистические ожидания могут почти граничить с достоверностью. Снова это подобно тому, как в классической теории теплоты затруднительно называть

объективным статистическое ожидание. Можно было бы назвать его объективной тенденцией, “потенцией” в смысле философии Аристотеля. На самом деле я полагаю, что язык, употребляемый физиками, когда они говорят об атомных процессах, вызывает в их мышлении такие же представления, что и понятие “потенция”. Так физики постепенно действительно привыкают рассматривать траектории электронов и подобные понятия не как реальность, а скорее как разновидность “потенций”. Язык, по крайней мере в определенной степени, уже

приспособился к действительному положению вещей. Но он не является настолько точным языком, чтобы его можно было использовать для нормальных процессов логического вывода, этот язык вызывает в нашем мышлении образы, а одновременно с ними и чувство, что эти образы обладают недостаточно отчетливой связью с реальностью, что они отображают только тенденции стать действительностью.

[114]

Неточность этого употребляемого физиками языка, заключенная в самой его сущности, привела к

попыткам развить отличный от него точный язык, допускающий разумно определенные логические схемы в точном соответствии с математической схемой квантовой теории. Из этих попыток, которые ранее были предприняты Биркгоффом и фон Нейманом и недавно еще более обстоятельно фон Вейцзеккером, следует, что математическая схема квантовой теории может быть истолкована как расширение или модификация классической логики. Должна быть явно изменена, в частности, основная аксиома классической логики. В классической логике

предполагалось, что, поскольку некоторое утверждение вообще имеет какой-либо смысл, то или это утверждение, или отрицание утверждения должны быть истинными. Из двух высказываний — “здесь есть стол” и “здесь нет стола” — или первое, или второе утверждение должно быть истинным. “*Tertium non datur*”, третья возможность не существует. Может случиться, что мы не знаем, правильно ли утверждение или его отрицание, но “в действительности” истинно только одно из них.

В квантовой теории этот закон “*tertium non datur*” должен быть,

очевидно, изменен. Против всякого изменения этой основной аксиомы можно, естественно, сразу же возразить в том плане, что эта аксиома справедлива в обычном языке и что мы должны говорить на этом языке по крайней мере об изменении логики именно этого языка. Поэтому имело бы место внутреннее противоречие, если бы мы пожелали на обычном языке описать логическую схему, которая не находит в нем применения. Однако в этом пункте фон Вейцзеккер разъяснил, что необходимо учитывать различные ступени языка.

Первая ступень имеет дело с объектами, например с атомами или электронами. Вторая ступень относится к высказываниям об объектах. Третья может относиться к высказываниям о высказываниях об объектах. В таком случае на различных уровнях можно было бы пользоваться различными логическими схемами. Правда, в конечном счете необходимо перейти к обычному языку и тем самым к классической логике. Но фон Вейцзеккер предлагает рассматривать классическую логику в отношении квантовой логики подобным же образом “априорно”,

как априорно предстает классическая физика в квантовой теории. Классическая логика оказалась бы тогда содержащейся в квантовой логике как своего рода предельный случай, однако последняя представляла бы собой все-таки более общую логическую схему.

При возможном изменении классической логики необходимо иметь дело прежде всего со ступенью языка, относящейся к самим объектам. Рассмотрим, например, атом, движущийся в замкнутом ящике, который, допустим, разделен стенкой на две равные части. Пусть в

стенке имеется маленькое отверстие, так что атом может случайно перелетать из одной половины в другую. Тогда, согласно классической логике, атом может находиться или в левой, или в правой половине ящика. Не существует никакой третьей возможности, “tertium non datur”. Однако в квантовой теории необходимо добавить, поскольку

[115]

вообще применяются слова “атом” и “ящик”, что имеются еще другие возможности, которые представляют из себя странного рода смеси обеих

ранее перечисленных возможностей. Эти смеси необходимы, чтобы объяснить результаты наших опытов. Можно, например, наблюдать свет, рассеянный атомом. При этом возможно провести три опыта. В первом атом заключен только в левой половине ящика (например, благодаря тому, что отверстие закрыто) , и измеряется распределение интенсивностей рассеянного света. Во втором опыте атом заключен только в правой половине ящика, и снова измеряется рассеяние света. Наконец, в третьем опыте атом может свободно перемещаться по всему ящику туда и

сюда, и опять с помощью измерительных приборов исследуется распределение интенсивностей рассеянного света. Если бы теперь атом постоянно находился или в левой, или в правой половине ящика, то распределение интенсивностей в третьем опыте должно было бы представлять собой смесь обоих предыдущих распределений интенсивности (в отношении, соответствующем промежуткам времени, которые атом проводит в одной и другой половине). Однако эксперимент показывает, что, вообще говоря, это не так. Действительное

распределение интенсивностей вследствие рассмотренной ранее интерференции вероятностей изменяется.

Для того чтобы иметь возможность говорить об этой ситуации, фон Вейцзеккер ввел понятие “значение истинности”. Любому простому альтернативному высказыванию типа “атом находится в левой (или в правой) половине ящика” сопоставляется как мера его “значения истинности” некоторое комплексное число. Если это число равно единице, значит высказывание истинно. Если число равно 0, значит высказывание ложно. Но возможны и

другие значения Квадрат
абсолютного значения комплексного
числа дает вероятность того, что
высказывание является истинным.
Сумма обеих вероятностей,
относящихся к обеим частям
альтернативы (в нашем случае —
слева, справа), должна равняться
единице. Но любая пара
комплексных чисел, сопоставляемая
обеим частям альтернативы,
представляет собой, согласно
определению Вейцзеккера,
высказывание непременно истинное,
если данные числа имеют именно
эти значения; обоих чисел,
например, было бы достаточно,

чтобы охарактеризовать описанный эксперимент по измерению распределения интенсивностей рассеянного света. Если слово “высказывание” применяют подобным образом, то понятие “дополнительности” можно ввести с помощью следующего определения: всякое высказывание, не тождественное ни с одним из пары альтернативных высказываний — в нашем специальном случае ни с высказыванием “атом находится в левой половине”, ни с высказыванием “атом находится в правой половине ящика”, — будет называться дополнительным по

отношению к этим высказываниям. Для всякого дополнительного высказывания вопрос о том, находится ли атом слева или справа, неопределен. Однако выражение “неопределенно” никоим образом не эквивалентно выражению “неизвестно”. “Неизвестно” означало бы, что атом в действительности находится

[116]

или слева, или справа, и что мы только не знаем, где он находится. А “неопределенно” указывает на отличную от этого ситуацию, которая может быть описана с помощью

дополнительного высказывания.

Эта общая логическая схема, детали которой здесь не могут быть приведены, точно соответствует математическому формализму квантовой теории. Она образует основу точного языка, который можно употреблять для описания строения атома. Однако применение такого языка все-таки ставит ряд трудных проблем, из числа которых мы хотим упомянуть здесь только две: соотношение различных ступеней языка и выводы относительно лежащей в основе его онтологии.

В классической логике для соотношения различных уровней характерно однозначное соответствие. Два высказывания — “атом находится в левой половине” или “истинно, что атом находится в левой половине” — логически относятся к различным уровням. В классической логике оба эти высказывания, однако, полностью эквивалентны, то есть — они оба или истинны, или оба ложны. Невозможно, чтобы одно было истинным, а другое — ложным. Однако в логической схеме дополнительности это соотношение запутаннее. Истинность или

ложность первого высказывания действительно влечет истинность или ложность второго высказывания. Но ложность второго высказывания не влечет ложность первого высказывания. Если второе высказывание ложно, то находится ли атом в правой половине, с полной определенностью еще утверждать нельзя. Атом не обязательно должен находиться в правой половине. Полная эквивалентность обоих уровней языка относительно истинности высказываний еще сохраняется, но относительно ложности — уже нет. С этой точки зрения можно понять так

называемую “устойчивость классических законов в квантовой теории”: всюду, где применение к данному эксперименту законов классической физики приводит к определенному выводу, этот же результат будет следовать и из квантовой теории, и экспериментально это также будет выполняться.

Последующей целью попытки Вейцзеккера является применение модифицированных логических схем также и на более высоких уровнях языка, однако эти вопросы не могут быть здесь обсуждены.

Вторая проблема, которую надо здесь кратко обсудить, касается онтологии, лежащей в основе модифицированной логической схемы. Если пара комплексных чисел характеризует в только что описанном смысле некоторое высказывание, то должны существовать в природе состояние или ситуация, в которых это высказывание является истинным. Попробуем в этой связи употреблять слово “состояние”. “Состояния”, соответствующие дополнительным высказываниям, будут тогда называться, согласно Вейцзеккеру, “сосуществующими состояниями”.

Это выражение “сосуществующие” правильно описывает положение дел; в самом деле, было бы затруднительно назвать их, например, “различными состояниями”, потому что каждое состояние в определенной степени содержит и другие “сосуществующие

[117]

состояния”. Это понятие “состояния” представляло бы собой в таком случае первое определение квантовомеханической онтологии. Но тогда сразу же будет ясно, что употребление слова “состояние”, особенно выражения

“сосуществующее состояние”,
связано с онтологией, столь
отличной от обычной
материалистической онтологии, что
можно сомневаться, целесообразно
ли еще здесь применение такой
терминологии. Если, с другой
стороны, слово “состояние”
понимать в том смысле, что оно
обозначает скорее возможность, чем
реальность, — можно даже просто
заменить слово “состояние” словом
“возможность”, — то понятие
“сосуществующие возможности”
представляется вполне приемлемым,
так как любая возможность может
включать другую возможность или

пересекаться с другими
возможностями.

Все эти сложные определения и различия можно обойти, если ограничить применение языка описанием фактов, т. е. в нашем случае — результатов экспериментов. Но если говорить о самих атомных частицах, то необходимо или использовать (как дополнение к обычному языку) только математическую схему, или комбинировать ее с языком, который употребляет измененную логику или вообще не пользуется никакой разумно определенной логикой.

В экспериментах с атомными процессами мы имеем дело с вещами и фактами, которые столь же реальны, сколь реальны любые явления повседневной жизни. Но атомы или элементарные частицы реальны не в такой степени. Они образуют скорее мир тенденций или возможностей, чем мир вещей и фактов.

[118]

ХІ. РОЛЬ НОВОЙ ФИЗИКИ В СОВРЕМЕННОМ РАЗВИТИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ

Философские выводы современной

физики были обсуждены в различных разделах этой книги. Это обсуждение было проведено с той целью, чтобы показать, что эта новейшая область естествознания во многих своих чертах затрагивает весьма древние тенденции мышления, что она на новой основе приближается к некоторым из древнейших проблем. Вероятно, в порядке общего предположения можно сказать, что в истории человеческого мышления наиболее плодотворными часто оказывались те направления, где встречались два различных способа мышления. Эти различные способы мышления, по-видимому, имеют свои

корни в различных областях
человеческой культуры или в
различных временах, в различной
культурной среде или в различных
религиозных традициях. Если они
действительно встречаются, если по
крайней мере они так соотносятся
друг с другом, что между ними
устанавливается взаимодействие, то
можно надеяться, что последуют
новые и интересные открытия.

Атомная физика, являющаяся частью
современного естествознания,
проникла в наше время в различные
области культуры. Она изучается не
только в Европе и в западных
странах, где она принадлежит к

естественнонаучной и технической деятельности, которая имела место еще задолго до создания квантовой механики, но она изучается и на Дальнем Востоке в таких странах, как Япония, Китай и Индия, с их чрезвычайно своеобразными культурными традициями, и в России, где уже около 40 лет проверяется новый способ мышления, который связан как с особенностями европейского научного развития XIX века, так и с совершенно самостоятельными традициями самой России. Конечно, последующее рассмотрение не имеет своей целью предсказание

результатов встречи между идеями современной физики и традиционными идеями. Однако, видимо, можно указать пункты, в которых взаимодействие между различными идеями может произойти.

Если рассматривать, каким образом шло распространение современной физики, то его, конечно, не надо отрывать от мирового распространения естествознания, техники, медицины, иными словами, всей современной цивилизации. Современная физика есть только звено длинной цепи развития, которое началось работами Бэкона,

Галилея и Ньютона и практическим применением естествознания в XVII и XVIII веках. С самого

[119]

начала возникла взаимопомощь естествознания и техники. Успехи техники, совершенствование инструментов и приборов, создание новой аппаратуры для измерения и наблюдения создавали основу для более полного и более точного эмпирического знания о природе. Прогресс в познании природы и, наконец, математическая формулировка законов природы открывали путь для нового

применения этого знания в технике. Так, например, открытие телескопа дало возможность астрономам точнее измерять движение звезд в сравнении с тем, как это было прежде. Благодаря этому были достигнуты успехи в астрономии и в небесной механике.

С другой стороны, точное знание механических законов имело большое значение для совершенствования механических приборов, для создания машин, преобразующих энергию, и т. д. Победное шествие этой связи естествознания и техники началось с того момента, когда научились

ставить на службу человеку некоторые силы природы. Например, энергия, которая содержится в угле, оказалась способной производить ряд работ, которые прежде должны были выполняться самими людьми. Отрасли промышленности, которые развились на базе этих новых возможностей, можно рассматривать прежде всего как естественное продолжение и развитие древнего ремесла. Во многих случаях действия машины подобны действиям, которые присущи старому ручному труду, и работы на химических фабриках могут рассматриваться как продолжение работы в красильнях и

аптеках старого времени. Но позднее были созданы совершенно новые отрасли промышленности, например электротехника, которая не имела никакого сходства с ремеслом.

Проникновение естествознания в более отдаленные области природы дало возможность инженерам использовать силы природы, которые прежде были почти неизвестны. А точное знание этих сил в виде математически сформулированных законов природы, которым подчиняются эти силы, образовало прочную основу для создания разнообразных машин.

Громадный успех, обусловленный

связью естествознания и техники, привел к большому перевесу тех наций, государств и обществ, которые стояли на почве технической цивилизации. Естественным следствием был факт, что интерес к естествознанию и технике в настоящее время подхвачен и другими нациями, которые по своим традициям не имели склонности к естествознанию или технике. Наконец, современные средства сообщения и связи завершили процесс распространения технической цивилизации. Этот процесс изменил до основания жизненные условия на Земле, и

одобряют его или нет, признают его успехи или его опасность, со всей определенностью надо подчеркнуть, что он давно перерос контроль со стороны человека. Его можно скорее рассматривать как биологический процесс, при котором структуры, действующие в человеческом организме, переносятся во все большем объеме на окружающую людей среду, и эта среда приводится в состояние, которое соответствует увеличивающемуся населению Земли.

[120]

Современная физика принадлежит к

новейшему этапу развития связи естествознания и техники, и ее, к несчастью, самый очевидный результат — атомная бомба — показал наиболее резко существо этого развития. С одной стороны, оказалось ясным, что изменения, которые возникли на Земле благодаря связи естествознания и техники, не могут рассматриваться только под углом зрения оптимизма; по крайней мере частично оправдываются взгляды людей, предостерегавших от опасности таких радикальных изменений наших естественных условий жизни. С другой стороны, процесс развития принудил тех, кто

пытался держаться как можно дальше от этой опасности, обратить самое серьезное внимание на новое развитие, так как ведь очевидно, что политическая власть в смысле военной силы в будущем будет основана на обладании атомной бомбой.

В задачи данной книги не входит подробное обсуждение политических последствий применения ядерной физики. Но несколько слов все же должно быть сказано по этому поводу, так как именно проблемы, связанные с атомной бомбой, прежде всего возникают в головах людей, когда заходит речь об атомной

физике. Открытие новых видов оружия, в особенности термоядерного, без сомнения, изменило политическую структуру мира. Решающее изменение произошло с понятием “независимых” наций и государств, так как каждая нация, которая не обладает таким оружием, в какой-то степени зависит от нескольких наций, которые обладают таким оружием и могут его производить в большом количестве. Но попытка вести войну в больших размерах с помощью такого оружия, по сути дела, представляет собой бессмысленное самоубийство.

Поэтому часто слышен оптимистический вывод, что война устарела, что она теперь не может начаться. Этот взгляд, к сожалению, основывается на одном из многих слишком оптимистических упрощений; напротив, абсурдность ведения войны с применением термоядерного оружия может оказаться стимулом к войнам малого масштаба. Если какая-нибудь нация или политическая группа убеждены на основе своего исторического или морального права в необходимости изменения современного положения в мире, то она будет считать, что применение для этой цели

разрешенных видов оружия не приведет к большому риску. Они будут уверены, что противник не прибегнет к атомному оружию, так как в этом сложном вопросе исторически и морально противник окажется неправым и не решится на большую атомную войну. Эта ситуация, напротив, должна побудить другие нации категорически заявлять, что они прибегнут к атомному оружию в случае малых войн, в которых они подвергнутся нападению. Таким образом, очевидно, что опасность сохранится. По-видимому, мир в какие-нибудь 20 или 30 лет

изменится так сильно, что опасность войны в большом масштабе с применением всех средств уничтожения станет много меньше или совсем исчезнет. Однако путь к этому новому состоянию полон опасностей.

Как и во все прежние времена, нужно отдавать отчет в том, что то, что кажется оправданным исторически и морально для одной стороны,

[121]

может оказаться неоправданным для другой. Сохранение status quo не

всегда бывает правильным решением. Напротив, по-видимому, чрезвычайно важно найти мирный путь к урегулированию международного положения. Во многих случаях вообще очень трудно найти правильное решение. Поэтому, пожалуй, не будет пессимистическим сказать, что только тогда можно избежать большой войны, когда все политические группы будут готовы отказаться от своих мнимо очевидных прав, принимая во внимание тот факт, что вопрос о справедливости и несправедливости будет по-разному выглядеть для

различных сторон. Это, конечно, не новая точка зрения; фактически необходимо только то отношение к жизни, которому в течение многих веков учат великие религии.

Изобретение атомного оружия поставило и перед наукой, и перед учеными совершенно новые проблемы. Влияние науки на политику стало много больше, чем оно было перед второй мировой войной, и это обстоятельство налагает двойную ответственность на ученых, особенно на физиков-атомщиков. Ученый может или активно участвовать в управлении своей страной ввиду важности науки

для общества (в этом случае он должен в конечном счете взять на себя ответственность за такие важные решения, которые выходят далеко за рамки решений, связанных с узким кругом исследовательской и университетской работы, к которой он привык до сих пор), или же он может отстраняться от всякого участия в решении политических вопросов. Потом он все же будет ответственен за ложные решения, которым он мог бы, пожалуй, воспрепятствовать, если бы он не жил спокойной жизнью кабинетного ученого. Очевидно, долг ученых — информировать свои правительства о

совершенно не виданных ранее размерах разрушения, которые принесла бы война с применением термоядерного оружия.

Кроме этого, ученых часто приглашают принять участие в торжественных резолюциях в пользу всеобщего мира; в отношении этого последнего я должен признаться, что никогда не мог понять смысл таких деклараций. Подобные резолюции, по-видимому, выглядят доказательством доброй воли, однако каждый, кто высказывается за мир, не выдвигая точно условия этого мира, должен тотчас же вызвать подозрение в том, что он говорит

только о таком мире, при котором он или его политическая группа наилучшим образом процветает. Тем самым, естественно, значение декларации полностью обесценивается. Каждая подлинная резолюция в пользу мира может состоять только из перечисления жертв, которые надо принести для сохранения мира. Однако ученые вовсе не вправе делать заявления подобного рода.

В то же самое время ученые могут с гораздо большим успехом способствовать сохранению мира, содействуя интернациональному сотрудничеству ученых в своей узкой

области. Большое значение, которое сегодня придается ядерным исследованиям многими правительствами, и тот факт, что уровень научных работ в различных странах весьма различен, благоприятствует международному сотрудничеству

[122]

молодых ученых разных стран, собранных вместе в исследовательских институтах, и общность работы в труднейших областях современной науки будет только способствовать взаимопониманию.

В одном случае, а именно в
Женевской организации (CERN¹⁵),
удалось добиться согласия ряда
европейских стран о строительстве
общей лаборатории для
термоядерных исследований. Этот
род сотрудничества, кроме того,
способствует консолидации общих
усилий в отношении научных
проблем и, быть может, эти общие
усилия молодого поколения
инженеров и физиков выйдут за
рамки только чисто научных
проблем. Конечно, с самого начала
нельзя предвидеть, какие будут
результаты после того, как ученые
возвратятся в свою прежнюю

обстановку, к своим прежним традициям. Но едва ли можно сомневаться в том, что обмен идеями между молодыми учеными разных стран и между разными поколениями в каждой стране будет способствовать тому, чтобы, не прибегая к исключительным мерам, приблизиться к новому состоянию, в котором установится равновесие между старыми силами традиций и неизбежными требованиями современной жизни. Особенной чертой современного естествознания, характеризующей его более, чем что-либо другое, является сильная связь между

различными культурными традициями, именно тот факт, что окончательное решение того, что истинно или ложно, не зависит ни от какого человеческого авторитета. Иногда, быть может, проходят многие годы, прежде чем найдут решение проблемы, прежде чем удастся точно отличить истину от лжи; наконец, вопросы решаются; принимаются эти решения не какой-либо группой ученых, а самой природой. К тому же, научные идеи распространяются среди тех, кто имеет интерес к науке, эти идеи распространяются совершенно иным путем, чем политические. В то время как

политические идеи, смотря по обстоятельствам, могут оказывать убедительное влияние на широкие народные массы только потому, что они служат преобладающим интересам людей или по крайней мере кажется, что служат, научные идеи распространяются только потому, что они истинны.

Существуют объективные и окончательные критерии, которые решают вопрос о правильности естественнонаучного утверждения.

Все, что здесь говорилось о международном сотрудничестве и обмене людьми, естественно, в равной мере справедливо для любой

области современного естествознания; это ни в коем случае не ограничивается только атомной физикой. В этом отношении современная физика является лишь одной из многих отраслей науки, и даже если техническое применение, а именно атомное оружие и мирное использование атомной энергии, придает ей особое значение, все же нет никаких оснований считать международное сотрудничество в области атомной физики гораздо более важным делом, чем сотрудничество в других областях естествознания. Однако теперь мы должны остановиться еще раз на

основных чертах современной физики, которые существенно отличаются от прежнего развития естествознания, и по этой причине мы еще раз должны вернуться к европейской истории этого развития, которое

[123]

осуществлялось благодаря взаимосвязи естествознания и техники.

Среди историков часто обсуждался вопрос, являлось ли вполне закономерным следствием прежних течений в духовной жизни Европы

возникновение естествознания после XVI века. В этой связи можно указать на определенные тенденции в христианской философии, приведшие к такому абстрактному понятию бога, когда бог был настолько высоко удален от мира, что оказалось возможным рассматривать мир, не усматривая в нем в то же самое время и бога. Картезианское разделение может считаться последним шагом в этом развитии. Многие теологические разногласия вызвали общее недовольство такими проблемами, которые не могут быть разрешены рационально и которые

обуславливали политические столкновения того времени; это недовольство возбуждало интерес к проблемам, резко отделенным от теологических дискуссий. Нужно отметить также громадную активность и новое направление мысли, которое пришло в Европу в период Ренессанса. Во всяком случае, в это время появился новый авторитет, который был совершенно независим от христианской религии, философии и церкви, авторитет опыта, эмпирического знания. Можно проследить истоки этого авторитета в более ранних философских направлениях,

например в философии Оккама или Дунса Скотта, однако решающей силой в развитии человеческой мысли этот авторитет стал только начиная с XVI века. Галилей хотел не только рассуждать о механическом движении — маятника и падающего камня, — но он хотел исследовать количественно с помощью эксперимента, как происходят эти движения. Эта новая сфера деятельности вначале, видимо, не рассматривалась как отклонение от традиционной христианской религии. Напротив, говорили о двух видах божественного откровения. Один записан в библии, другой

находится в книге природы.
Священное писание было написано
людьми и потому подвержено
человеческому заблуждению.
Природа является непосредственным
выражением божественной воли.

Однако то большое значение, которое
придавали опыту, привело к
медленному и постепенному
изменению во всем понимании
действительности.

В то время как то, что мы сегодня
называем символическим значением
вещи, в средние века в некотором
смысле являлось ее первичной
реальностью, теперь реальность

стала только тем, что мы в состоянии воспринимать нашими чувствами. Первичной реальностью оказалось то, что мы можем видеть и осязать. И это новое понятие реальности связывалось с новой деятельностью. Мы можем экспериментировать и обнаружить, каковы вещи в действительности. Легко можно представить, что этот новый подход означал не что иное, как прорыв человеческой мысли в бесконечную область новых возможностей, и поэтому вполне понятно, что церковь в новом движении увидела для себя скорее опасность, чем надежду. Известный процесс против Галилея

из-за его выступления в защиту системы Коперника означал начало борьбы, которая длилась более столетия.

[124]

В этом споре представители естествознания утверждали, что только опыт может претендовать на неоспоримую истину. Они отрицали право за человеческим авторитетом решать, что в действительности происходит в природе, и считали, что это решение — дело самой природы или в этом смысле самого бога. С другой стороны, представители традиционной религии говорили:

если слишком направлять наше внимание на материальный мир, на чувственно воспринимаемое, то мы потеряем связь с важнейшими ценностями человеческой жизни, с той частью реальности, которая находится по ту сторону материального мира. Оба эти довода не" соприкасаются, и потому проблема не может быть разрешена путем какого-либо соглашения или решения.

Между тем естествознание создавало все более ясную и обширную картину материального мира. В физике эта картина описывалась понятиями, которые мы сегодня называем

понятиями классической физики. Мир состоит из вещей, находящихся в пространстве и времени, вещи состоят из материи, а материя вызывает силы и может быть подвергнута воздействию сил. Процессы совершаются путем взаимодействия материи и силы. Каждый процесс является и следствием, и причиной других процессов.

Одновременно отношение человека к природе превращалось из созерцательного в практическое. Теперь уже интересовались не природой, как она есть, а прежде всего задавались вопросом, что с ней

можно сделать. Естествознание поэтому превратилось в технику. Каждый успех знания связывался с вопросом, какая практическая польза может быть получена из этого знания. Это нашло место не только в физике; и в химии, и в биологии в основном была та же самая тенденция, и успех новых методов в медицине или сельском хозяйстве решающим образом способствовал распространению нового направления.

Таким образом, в XIX веке естествознание было заключено в строгие рамки, которые определяли не только облик естествознания, но и

общие взгляды людей. Эти рамки во многом определялись основополагающими понятиями классической физики, такими, как пространство, время, материя и причинность. Понятие реальности относилось к вещам или процессам, которые мы воспринимаем нашими чувствами или которые могут наблюдаться с помощью усовершенствованных приборов, представленных техникой. Материя являлась первичной реальностью. Прогресс науки проявлялся в завоевании материального мира. Польза была знаменем времени.

С другой стороны, эти рамки были

настолько узкими и неподвижными, что трудно было найти в них место для многих понятий нашего языка, например понятий духа, человеческой души или жизни. Дух включался в общую картину только как своего рода зеркало материального мира, и если свойства этого зеркала изучались в психологии, то ученые всегда впадали в искушение — если продолжать это сравнение — направить свое внимание больше на механические, чем на оптические свойства этого зеркала. И здесь еще пытались применять понятия классической физики, особенно

понятие

[125]

причинности. Подобным образом и жизнь понималась как физико-химический процесс, который происходит по законам природы и полностью определяется законом причинности. Это понимание получило сильную поддержку со стороны дарвиновского учения о развитии.

Особенно трудно было найти место в этой системе знания для тех сторон реальности, которые составляли предмет традиционной религии и

которые теперь представляются более или менее иллюзией. Поэтому в тех европейских странах, где обычно идеи доводились до их логического конца, появилась открытая враждебность по отношению к религии, и даже в других странах возникала усиливающаяся тенденция безразличного отношения к подобным вопросам. Только этические ценности христианской религии, по крайней мере вначале, принимались этим движением. Доверие к научному методу и рациональному мышлению заменило все другие гарантии человеческого

духа.

Если теперь возвратиться к вопросу, что внесла в этот процесс физика нашего века, то можно сказать, что важнейшее изменение, которое было обусловлено ее результатами, состоит в разрушении неподвижной системы понятий XIX века.

Естественно, что и раньше предпринимались попытки выйти из этой неподвижной системы, которая совершенно очевидно была слишком узкой для понимания важнейших сторон действительности. Однако нельзя было выяснить, что является ложным, например, в таких основополагающих понятиях, как

материя, пространство, время и причинность, которые обычно так хорошо себя оправдывали в истории науки. Только экспериментальное исследование, проведенное с помощью современной техники, и его математическое истолкование создали основы для критического анализа или, можно сказать, они вызвали критический анализ этих понятий и привели, наконец, к разрушению неподвижной системы.

Это разрушение совершилось путем двух самостоятельных шагов. Первым шагом является открытие, происшедшее в связи с теорией относительности, заключающееся в

том, что даже такие основополагающие понятия, как пространство и время, могут изменяться и даже должны изменяться. Эти изменения касаются не столько неточного употребления понятий пространства и времени в обыденном языке, сколько их точной формулировки в научном языке механики Ньютона, которую ошибочно считали чем-то окончательным. Вторым шагом явилось разъяснение понятия материи, которое было вызвано результатами экспериментов по изучению строения атома. Идея реальности материи, вероятно,

являлась самой сильной стороной жесткой системы понятий XIX века; эта идея в связи с новым опытом по меньшей мере должна была быть модифицирована. Однако понятия, поскольку они принадлежали к обыденному языку, остались в основном нетронутыми. Не возникало никаких трудностей, когда говорили о материи, о фактах или о реальности, описывая атомные опыты и их результаты. Однако научная экстраполяция этих понятий на мельчайшие частицы не могла быть проведена простым образом, как представлялось это в классической физике, и как раз это

простое

[126]

представление вело к неверным
взглядам на проблему материи.

Новые открытия прежде всего
серьезно предостерегали против
вынужденного применения
физических понятий в областях, к
которым они не принадлежат.

Некритическое применение понятий
классической физики в химии,
например, было ошибкой. Поэтому в
настоящее время вряд ли склонны
считать, что понятия всей физики, а
также квантовой теории могут быть

успешно применены в биологии или в других науках. Напротив, пытаются открыть двери для новых понятий, даже в тех науках, где старые понятия весьма полезны для понимания явлений. В особенности стараются избегать поспешных упрощений в тех случаях, когда применение старых понятий представляется несколько вынужденным или не совсем подходящим.

Кроме того, развитие и анализ современной физики способствуют пониманию, что понятия обыденного опыта, как бы неточны они ни были, по-видимому, являются более

устойчивыми при расширении нашего знания, чем точные понятия научного языка, которые образуются как идеализация одной весьма ограниченной группы явлений. В сущности, это и неудивительно, так как понятия обыденного языка образованы путем непосредственной связи с миром, и они описывают реальность; они, правда, не очень хорошо определены и потому с течением времени претерпевают изменения, так как изменяется сама реальность, однако они никогда не теряют непосредственной связи с реальностью. С другой стороны, научные понятия представляют

собой идеализации. Они выводятся из экспериментов, произведенных с помощью совершенных вспомогательных средств, их значения точно установлены путем аксиом и определений. Только на основе таких точных определений можно связывать понятия с математической схемой и затем математически выводить в этой области бесконечное многообразие возможных явлений. Однако в процессе этой идеализации и точного определения теряется непосредственная связь с реальностью. Понятия всегда очень хорошо подходят к той части

реальности, которая является предметом исследования. В других областях явлений соответствие теряется.

Если исходить из этой обоснованной в своей сущности стабильности понятий обыденного языка в процессе научного развития, то следует признать, что на основе открытий современной физики наша позиция относительно таких понятий, как бог, человеческая душа, жизнь, должна отличаться от позиции XIX века, так как эти понятия принадлежат именно к естественному языку и потому непосредственно связаны с

реальностью. Конечно, мы должны себе давать отчет в том, что эти понятия не могут быть хорошо определены в научном смысле и что их применение будет приводить к различным внутренним противоречиям; все же мы должны пока эти понятия брать так, как они есть, не анализируя и строго не определяя. Мы знаем, что они имеют отношение к реальности. В этой связи, пожалуй, полезно вспомнить о том, что даже в самой точной науке, в математике, не может быть устранено употребление понятий, содержащих внутренние

противоречия. Например, хорошо известно, что понятие бесконечности ведет к противоречиям, однако практически было бы невозможно построить без этого понятия важнейшие разделы математики.

Общая тенденция человеческого мышления в XIX веке вела к возрастающей вере в научный метод и в точные рациональные понятия; эта тенденция связывалась с всеобщим скепсисом в отношении тех понятий обыденного языка, которые не входили в замкнутые рамки научного мышления, например

понятий религии. Современная физика во многих случаях еще усилила этот скепсис, однако в то же время она встала против переоценки самих научных понятий, вообще против слишком оптимистического взгляда на прогресс и, наконец, против самого скепсиса. Скепсис в отношении точных научных понятий не означает, что должны существовать абсолютные границы применения рационального мышления. Напротив, можно сказать, что в определенном смысле человеческая способность к познанию безгранична. Однако существующие научные понятия

подходят только к одной очень ограниченной области реальности, в то время как другая область, которая еще не познана, остается бесконечной. В любом случае, где мы переходим от познанного к непознанному, мы надеемся нечто понять, но одновременно, пожалуй, необходимо при этом подчеркнуть новое значение слова “понимать”. Мы знаем, что всякое понимание в конце концов покоится на обычном языке, так как только в этом случае мы уверены в том, что не оторвались от реальности, и поэтому мы должны быть настроены скептически против любого вида скепсиса в отношении

ЭТОГО ОБЫЧНОГО ЯЗЫКА И ЕГО ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ И ДОЛЖНЫ ЭТИМИ ПОНЯТИЯМИ ПОЛЬЗОВАТЬСЯ ТАК, КАК ИМИ ПОЛЬЗОВАЛИСЬ ВО ВСЕ ВРЕМЕНА. БЫТЬ МОЖЕТ, ТАКИМ ОБРАЗОМ СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИКА ОТКРЫЛА ДВЕРЬ НОВОМУ И БОЛЕЕ ШИРОКОМУ ВЗГЛЯДУ НА ОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ ДУХОМ И РЕАЛЬНОСТЬЮ.

Современное естествознание проникает в наше время в другие части света, где культурные традиции сильно отличаются от европейской цивилизации. Наступление новой естественнонаучной и технической деятельности должно вызвать там гораздо более сильные потрясения,

чем в Европе, так как изменения в условиях жизни, происходившие в Европе постепенно в течение 2 — 3 столетий, там должны произойти в течение нескольких десятков лет. Нужно ожидать, что эта новая деятельность во многих случаях проявляется как разрушение старой культуры, как бесцеремонное и варварское вмешательство, нарушающее зыбкое равновесие, на котором зиждется все человеческое счастье. Этих последствий, к сожалению, нельзя избежать, с ними надо примириться как с характерной чертой нашего времени. И все же даже в этом отношении

революционный дух современной физики до некоторой степени может помочь привести в соответствие древние традиции с новыми тенденциями в мышлении. Так, например, большой научный вклад в теорию физики, сделанный в Японии после войны, может рассматриваться как признак определенной взаимосвязи традиционных представлений

[128]

Дальнего Востока с философской сущностью квантовой теории. Вероятно, легче привыкнуть к понятию реальности в квантовой

теории в том случае, если нет привычки к наивному материалистическому образу мыслей, господствовавшему в Европе еще в первые десятилетия нашего века.

Естественно, эти замечания не должны пониматься как недооценка вредного влияния, которое, вероятно, привносится или еще будет привнесено старыми культурными традициями в процессе научного прогресса. Но так как все это развитие давно вышло из-под контроля человека, то мы должны признать его как одну из существенных черт нашего времени и

попытаться насколько возможно связать это развитие с теми человеческими ценностями, которые являлись целью древних культурных и религиозных традиций.

При этом имеет смысл привести одну притчу из истории религии хасидов. Жил старый раввин, священник, который был известен своей мудростью и к которому люди шли за советом. Пришел к нему один человек в отчаянии от всех происходивших вокруг него изменений и стал жаловаться на все то зло, которое происходит по причине так называемого технического прогресса. “Разве

имеет цену весь технический хлам,
— сказал он, — когда думают о
действительной ценности жизни?”
Раввин ответил: “Все в мире может
способствовать нашему знанию: не
только то, что создал бог, но и все то,
что сделал человек”. — “Чему мы
можем научиться у железной
дороги?” — спросил в сомнении
пришедший. “Тому, что из-за одного
мгновения можно упустить все”. —
“А у телеграфа?” — “Тому, что за
каждое слово надо отвечать”. — “У
телефона?” — “Тому, что там слышат
то, что мы здесь говорим”.
Пришедший понял, что думал
раввин, и пошел своей дорогой.

Наконец, современное естествознание врывается в те страны, в которых в течение нескольких десятилетий создавались новые положения веры как основа для новых могучих общественных сил. В этих странах современная наука обнаруживает себя как в отношении содержания этих положений веры, ведущих свое начало от европейских философских идей XIX в. (Гегель и Маркс), так и в отношении феномена веры, который не признает никакого компромисса с другими взглядами. Так как современная физика из-за своей практической пользы и в этих

странах играет большую роль, то едва ли можно избежать того, что и там будет ощущаться ограниченность новых положений веры теми, кто действительно понимает современную физику и ее философское значение. Поэтому, для будущего будет, по-видимому, плодотворным духовный обмен между естествознанием и новым политическим учением. Естественно, что не надо переоценивать влияние науки. Но открытость современного естествознания, вероятно, в состоянии помочь большим группам людей понять, что новые положения

веры для общества не так важны, как предполагалось до сих пор. Таким образом, влияние современной науки может оказаться очень благотворным для развития терпимости к иным идеям и потому стать весьма полезным.

[129]

С другой стороны, необходимо гораздо более серьезно относиться к феномену слепой безусловной веры, чем к специальным философским идеям XIX века. Мы не можем закрыть глаза перед фактом, что едва ли когда-нибудь большое число людей сможет иметь обоснованное

мнение о правильности
определенных общих идей или
положений веры. Поэтому слово
“вера” для этого большинства людей
никогда не означает “знание
истины”, а понимается только как
“то, что является основой жизни”.
Легко можно понять, что вера в этом
втором смысле много крепче и
прочнее. Она остается
непоколебимой даже при
столкновении с непосредственно
противоречащим опытом, и потому
ее не может поколебать новое
знание. История прошедших
десятилетий на многих примерах
учит тому, что этот второй вид веры

часто поддерживается и тогда, когда он полностью противоречит сам себе, и что его конец приходит только со смертью верующих. Наука и история учат нас тому, что второй вид веры может представлять большую опасность для тех, кто подпадает под его влияние. Но это понимание ничего не дает, поскольку не известны способы, какими можно преодолеть эту веру; этим объясняется, что этот род веры всегда принадлежал к значительным силам человеческой истории. Исходя из научных традиций XIX в., можно было бы надеяться, что всякая вера должна основываться на

рациональном анализе всех аргументов, на последовательных умозаключениях и что иной род веры, при котором настоящая или кажущаяся истина принимается просто как основа жизни, вообще не должен иметь места.

Безусловно, глубокое размышление, основанное на чисто рациональных аргументах, может предохранить нас от многих ошибок и заблуждений, так как оно предполагает учет новых условий и потому может стать необходимой предпосылкой жизни. Однако, если размышлять об опыте современной физики, то легко прийти к выводу, что всегда должна

быть принципиальная
дополнительность между
размышлением и решением. В
практической жизни едва ли
вероятно, чтобы возможное решение
охватывало все аргументы “за” и
“против” и потому приходится всегда
действовать на базе недостаточного
знания. Решение в конце концов
принимается посредством того, что
отбрасываются все аргументы — и
те, которые продуманы, и те, к
которым можно прийти путем
дальнейших рассуждений. Решение,
быть может, является результатом
размышления, но одновременно оно
и кончает с размышлением,

исключает его. Даже важнейшие решения в жизни всегда, пожалуй, содержат неизбежный элемент иррациональности. Само решение необходимо, так как должно быть что-то, на что мы можем полагаться, а именно основное положение, которое направляет наши действия. Не имея такого прочного отправного пункта, наши действия потеряли бы всякую силу. Жизненную основу образует иррациональное выявление действительной или кажущейся истины или смешения этих истин. Этот факт, с одной стороны, дает нам право оценить жизненные основы общества прежде всего *по*

особенностям морали, в которых они проявляются, и, с другой стороны, подготавливает нас уважать также и жизненные

[130]

принципы других обществ, которые сильно отличаются от наших.

Если мы хотим сделать общий вывод из этих мыслей о проникновении современной науки в различные области жизни, то возможно установить, что современная физика представляет собой только одну, хотя и весьма характерную сторону общего исторического процесса,

имеющего тенденцию к объединению и расширению нашего современного мира. Этот процесс сам по себе привел бы к уменьшению политической напряженности, которая в наше время представляет большую опасность. Но этот процесс сопровождается другим процессом, который действует в прямо противоположном направлении. Именно тот факт, что многие народы осознают этот процесс объединения, ведет в существующих цивилизованных странах к подъему всех сил, которые стремятся обеспечить своим традиционным ценностям возможно более полное

влияние в окончательном состоянии единства. Из-за этого возникает напряженность, и оба конкурирующих процесса так тесно связаны между собой, что каждое усиление процесса объединения, например путем нового технического прогресса, тотчас усиливает борьбу за конечное влияние и потому способствует неуверенности на промежуточном этапе. Современная физика в этом опасном процессе объединения играет, пожалуй, только подчиненную роль. Однако в двух решающих пунктах она, по-видимому, помогает направить развитие по мирным рельсам. Во-

первых, она показывает, что применение оружия в этом процессе имело бы чудовищные последствия; во-вторых, своей доступностью для многих исторически сложившихся способов мышления она пробуждает надежду, что в окончательном состоянии различные культурные традиции, новые и старые, будут сосуществовать, что весьма разнородные человеческие устремления могут быть соединены для того, чтобы образовать новое равновесие между мыслями и действием, между созерцательностью и активностью.

ПРИМЕЧАНИЯ И КОММЕНТАРИИ

Нижеследующие примечания носят преимущественно библиографический характер и ставят целью восполнить опущенный в тексте работ Гейзенберга (ввиду их популяризаторского характера) научно-библиографический аппарат ссылок и документации.

Теоретические соображения по соответствующим пунктам и вопросам приведены в разделе “Вернер Гейзенберг и философия”. Соответственно в примечаниях не дано и сведений об авторах цитируемых библиографических

источников. Эти сведения в ряде случаев приведены в приложенном в конце книги именном указателе. При цитировании источников, использованных Гейзенбергом, в примечаниях по возможности даются также публикации соответствующих текстов в русских переводах.

1. См.: Г.Бете, А.Зоммерфельд.
Электронная теория металлов. М.: Гостехиздат, 1938; А.Зоммерфельд.
Строение атома и спектры. М.: Гостехиздат, 1956.
2. См.: Л. Бройль. Введение в волновую механику. Харьков — Киев, Госнаучтехиздат Украины,

1934; Л. де Бройль. Революция в физике. М.: Атомиздат, 1965.

3. Бор, Крамерс и Слэтер в 1924 г. сформулировали гипотезу о том, что при процессах, происходящих на атомном и субатомном уровнях структуры материи, принципы сохранения энергии и импульса выполняются лишь статистически. См. об этой гипотезе: Г. А. Крамерс, Х. Гольст. Строение атома и теория Бора. М. — Л.: Госиздат, 1926; Дж. Слэтер. Электронная структура молекул. М.: Мир, 1965.

4. Упомянутые здесь работы

Шредингера имеются в русских переводах в сборниках:

Э.Шредингер. Избранные труды по квантовой механике. М.: Наука, 1979; Э.Шредингер. Новые пути в физике. Статьи и речи. М.: Наука, 1971. См. также: Э. Шредингер. Четыре лекции по волновой механике. Харьков — Киев, Госнаучтехиздат Украины, 1936; Э. Шредингер. Статистическая термодинамика. М.: Издательство иностранной литературы, 1948; Э. Шредингер. Что такое жизнь с точки зрения физики? М.: Атомиздат, 1972, изд. 2-е.

5. Имеется в виду упоминание об

Анаксимандре в написанном приблизительно на рубеже IV — III вв. до н. э. труде Теофраста “Мнения физиков”, дошедшем до нас лишь в фрагментах.

6. О естественнонаучных аспектах воззрений перечисляемых В. Гейзенбергом досократиков см. подробнее: И. Д. Рожанский. Развитие естествознания в эпоху античности. Ранняя греческая наука “о природе”. М.: Наука, 1979.
7. См.: там же, с. 352 — 370.
8. См.: там же, с. 371 — 395, раздел “Атомистическая концепция

Платона”.

9. См.: Г. А. Лоренц. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения. Изд. 2-е. М.: Гостехиздат, 1953; Г. А. Лоренц. Старые и новые проблемы физики. М.: Наука, 1970.

[132]

10. См.: Д. Бом. Причинность и случайность в современной физике. М.: ИЛ, 1959; Д. Бом. Общая теория коллективных переменных. М.: Мир, 1964; Д. Бом. Квантовая теория. Изд. 2-е.

М.: Наука, 1965.

11. Подробное изложение вопросов, связанных с симметрией волн и частиц и математическим представлением проблем квантования трехмерных материальных волн, см. (в плоскости анализа, затронутой в данном контексте В.

Гейзенбергом) в работах: Е.

Вигнер. Теория групп и ее приложения к квантово-

механической теории атомных спектров. М.: ИЛ, 1961; Е. В и г н е р. Этюды о симметрии. М.: Мир, 1971.

12. В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, с. 276.

13. “Естественно возникновение того, что возникает от природы; то, из чего нечто возникает, — это, как мы говорим, материал; то, вследствие чего оно возникает, — это нечто сущее от природы, а чем оно становится — это человек, растение или еще что-то подобное им, что мы, скорее всего, обозначаем как сущности. А все, что возникает — естественным ли путем или через искусство, — имеет материю, ибо каждое возникающее может и быть, и не

быть, а эта возможность и есть у каждой вещи материя. Вообще же природа — это и то, из чего нечто возникает, и то, сообразно с чем оно возникает (ибо все возникающее, например растение или животное, имеет ту или иную природу), и то, вследствие чего нечто возникает, — так называемое дающее форму естество, по виду тождественное возникающему, хотя оно в другом: ведь человек рожден человеком” (Аристотель. Сочинения в четырех томах. М.: Мысль, 1975, т. I, с. 198).

14. И. В. Гете. Собрание сочинений.

М.: ГИХЛ, 1947, т. 5, с. 118 — 119
 (“Фауст” в переводе Н.
Холодковского).

15. CERN — Conseil Européen pour la
Recherche Nucleaire, Европейская
организация ядерных
исследований — международный
центр, расположенный близ
Женевы; основан в 1954г. для
координации фундаментальных
исследований ряда
западноевропейских стран в
области физики элементарных
частиц и ядра.